

# **Polymery a plasty v praxi**

**RNDr. Ladislav Pospíšil, CSc.**  
**[29716@mail.muni.cz](mailto:29716@mail.muni.cz)**

LEKCE	téma
1	<b>Úvod do předmětu - Základy syntézy polymerů. Struktura a názvosloví polymerů</b>
2	Polyetylén a kopolymery etylénu
3	Polypropylén a kopolymery propylénu
4	Polyvinylchlorid, měkčené a neměkčené PVC
5	Styrénové termoplasty
6	Polyamidy
7	Polyestery
<b>8</b>	<b>REZERVA</b>
9	Fenolformaldehydové pryskyřice
10	Epoxydové pryskyřice, Polyuretany
11	Polyesterové pryskyřice, Degradace polymerů – základní informace
12	Silikony, Síťované elastomerní materiály
<b>13</b>	<b>KOLOKVIUM</b>

# E - LEARNING

Přednášky	Budou vystaveny na e-learning
Chřipková epidemie a podobné problémy	Přednáška bude vystavena na e-learning
Dotazy a připomínky	Zasílat na moji FAKULTNÍ Intranetovou adresu

**Co byste měli předem vědět  
(„Prerequisites“)**

Organická chemie	Názvosloví monomerů
Fyzika	Základní pojmy o vztahu mechanického napětí tělesa a jeho deformaci

**Mohlo by se vám hodit, ale není podmínkou**

**MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE**

# Proč se o toto zajímat - 1

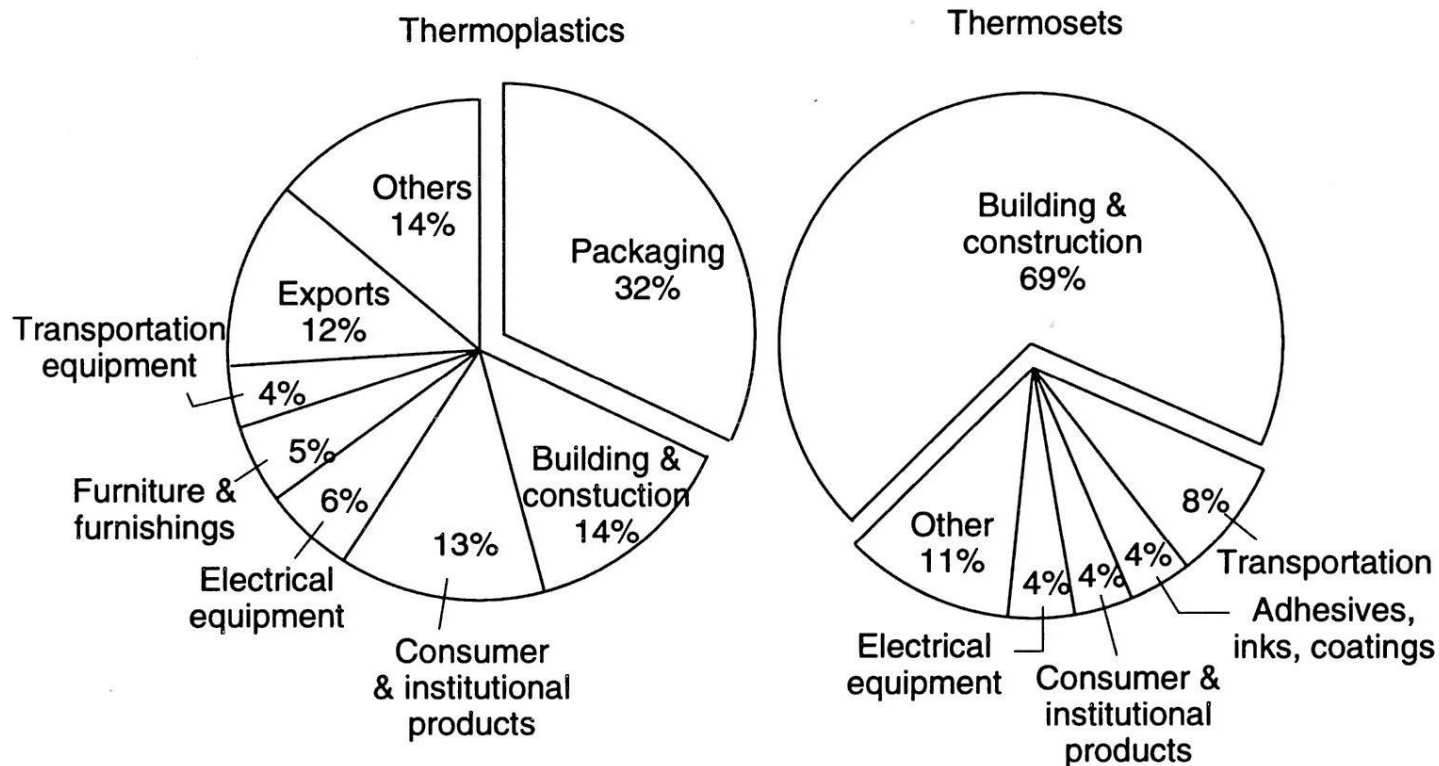
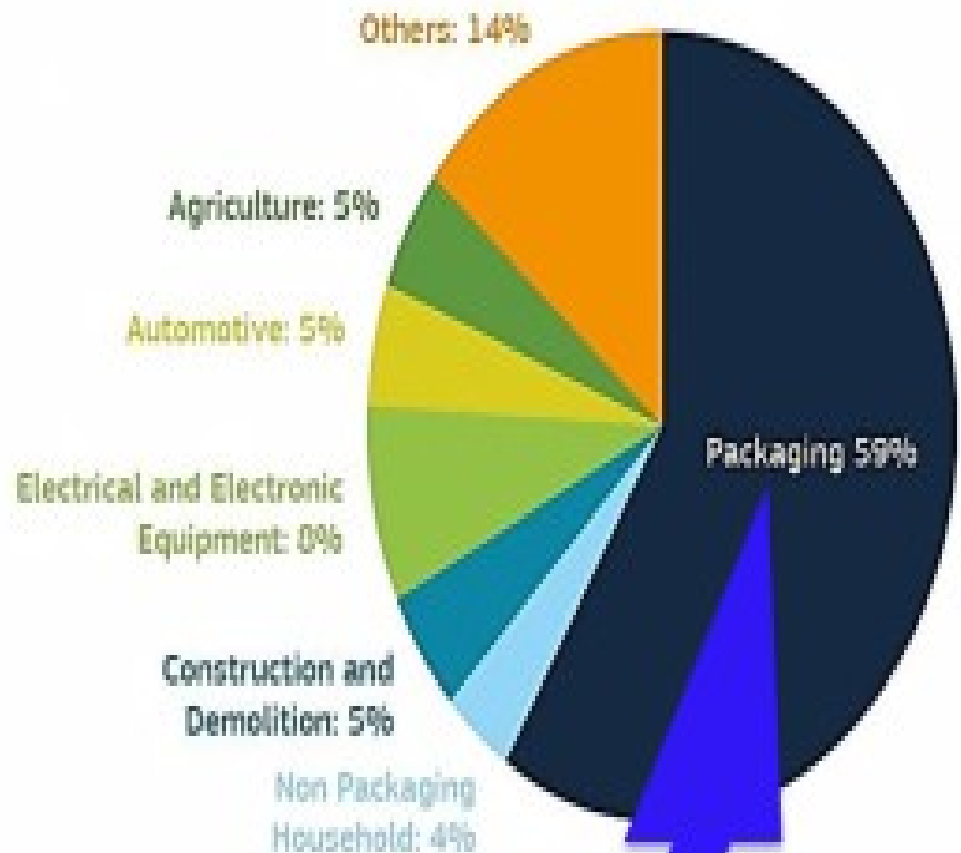
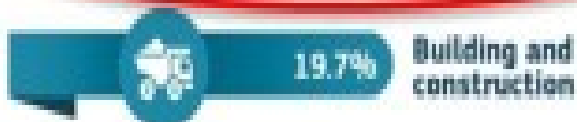
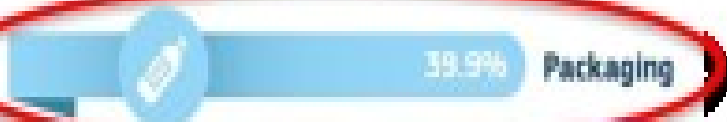


Figure 1.3 Break down of U.S. polymer production into major areas of application.

**Data z  
USA –  
rok  
1995**

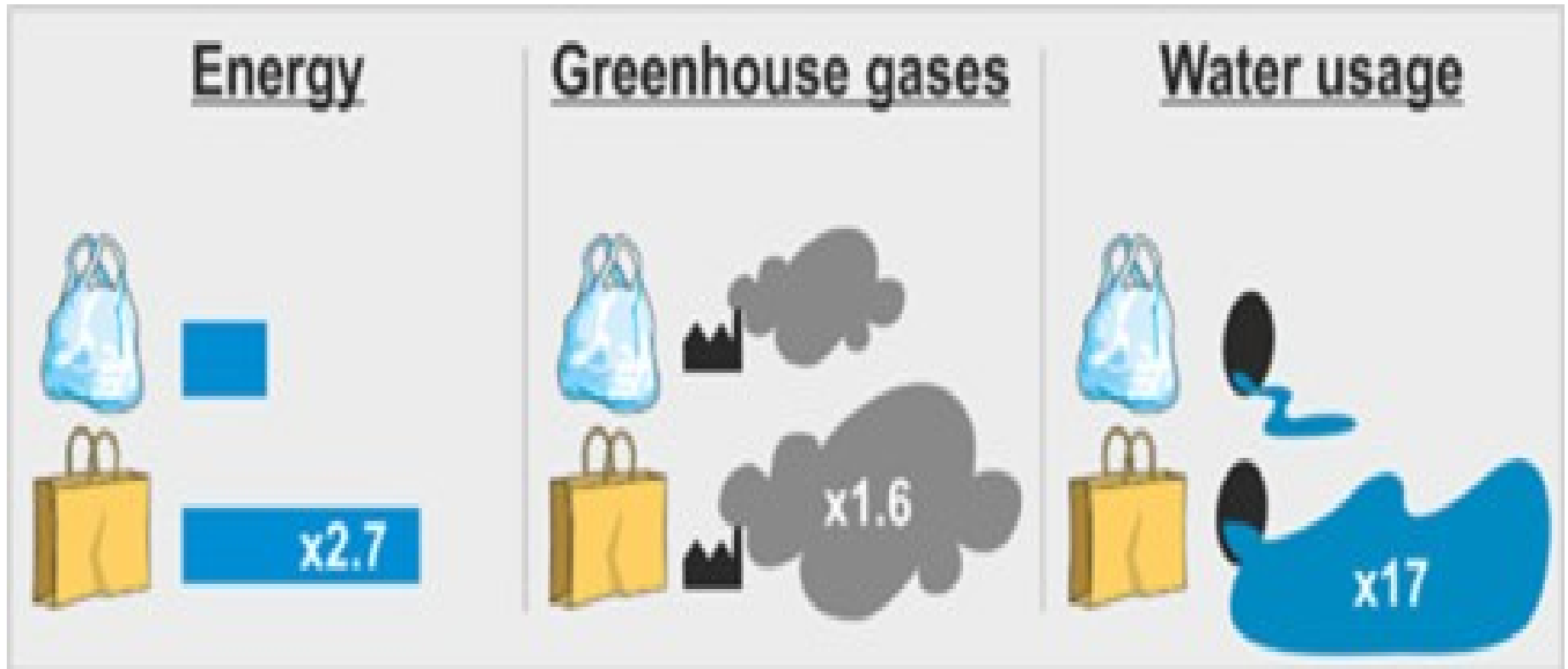
**Roční  
výroba  
plastů je  
nyní cca.  
300  
milionů  
tun**

# Proč se o toto zajímat - 2



Source: Eunomia (2017)

# Plasty versus PAPIR – uhlíková stopa



# Historie výuky „MAKRO“ na přírodovědě

## Katedra makromolekulární chemie:

Vedoucí katedry:

Prof. RNDr. Karel Veselý, DrSc.

Docenti:

Ing. Miroslav Kučera, DrSc.

RNDr. Ing. Zdeněk Macháček, CSc.

Inženýři:

RNDr. Miroslav Hloušek, CSc.

Ing. Zdeněk Menčík, CSc.

RNDr. Ing. Zdeněk Zlámal, CSc.

## Chemie dělila na katedry, nyní ústavy

„MAKRO“ byla samostatná katedra sídlila na VÚMCH, nyní PIB.

Vznikla někdy okolo roku 1955. VÚMCH vzniknul v roce 1956.

Po roce cca. 1970 byla katedra zrušena přičleněna jako

**ODDĚLENÍ** k Teoretické a fyzikální chemii, DP se dělali na VÚMCH

Někdy okolo roku 1990 oddělení přičleněno k **ORGANICKÉ CHEMII**

Pak byly katedry zrušeny a vzniknul **ÚSTAV CHEMIE**

Cca. v roce 2010 byla ztracena **AKREDITACE** pro

Makromolekulární chemii , tj. nelze dělat ani BP, natož DP či

doktorát. ZKOUŠKA byla povinná pro všechny, v 6.

semestru. **Bez laborek.**

# Cíle předmětu

Seznámit studenty se základními syntetickými polymerními materiály, jejich vlastnostmi a použitím. Důraz bude kladen na **použití** v práci konzervátora a restaurátora. Otázkám mechanismu polymerací bude věnována minimální pozornost, protože toto pokrývá přednáška **MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE.**



# Vztah tohoto předmětu k jiným předmětům

**Polymery a plasty v praxi** – základní informace o názvosloví, vlastnostech a hlavně **POUŽITÍ**

**MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE** - pokročilá informace o mechanismu a kinetice vzniku syntetických polymerů (**POLYREAKCE**) a **FYZIKA POLYMERŮ**

**Technologie zpracování plastů** > VUT FCH, Ústav chemie materiálů

**Navrhování výrobků z plastů** > VUT FCH, Ústav chemie materiálů

**Degradace a stabilizace polymerů** > VUT FCH, Ústav chemie materiálů

# Co si můžeme představit pod pojmem „ **Polymery a plasty v praxi** “?

- **Výtvarné hledisko** > průmyslové výtvarnictví (*design*) > příklad PET láhev
- **Konstrukční hledisko** > „klasický přístup“  
X MKP (*FEM*)
- **Technologické hledisko** > nástroj, výroba
- **Materiálové hledisko** > volba hmoty  
na daný výrobek a aplikaci > **POUŽITÍ**

# Literatura

- **Mleziva J., Šňupárek J.:** Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití, ISBN 80-85920-72-7, Sobotáles, Praha , 2000, 2, vydání
- **Štěpek J., Zelinger J., Kuta A.:** Technologie zpracování a vlastnosti plastů, SNTL Praha, 1989
- **Mleziva J., Kálal J.:** Základy makromolekulární chemie, SNTL Praha, 1986
- **Zelinger J., Heidingsfeld V., Kotlík P., Šimůnková E.:** Chemie v práci konzervátora a restaurátora, ACADEMIA Praha, 1987
- **Schätz M.:** Polymery ve výtvarné praxi, SPN Praha, 1984
- **Schätz M.:** Moderní materiály ve výtvarné praxi, SNTL Praha, 1982
- **Nicholson J. W.:** The Chemistry of Polymers, ISBN 0-85186-413-9, The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 1991
- **Allen N. S., Edge M., Hoire. C. V.:** Polymers in Conservation. Royal Society of Chemistry 1992

SCIENCE FOR CONSERVATORS

**Volume 1**

**An Introduction to  
MATERIALS**

Conservation Science Teaching Series



THE CONSERVATION UNIT

18. 2.2019

POLYMERY A PLASTY V PRAXI  
1-2019

12

SCIENCE FOR CONSERVATORS

**Volume 2**

# CLEANING

Conservation Science Teaching Series



THE CONSERVATION UNIT

# SCIENCE *FOR* CONSERVATORS

VOLUME

# 3

Adhesives

and

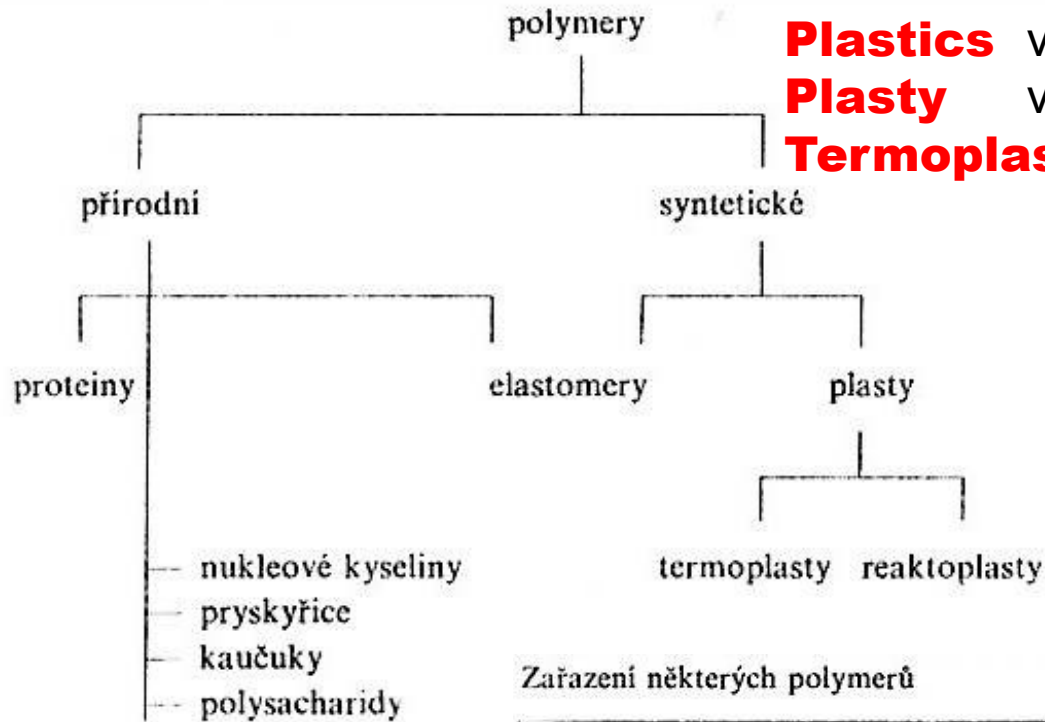
Coatings

MUSEUMS &  
GALLERIES  
COMMISSION



CONSERVATION SCIENCE TEACHING SERIES

**BRITISH** versus **AMERICAN ENGLISH**  
**Plastics** versus **Resins**  
**Plasty** versus **Pryskyřice**  
**Termoplast** versus **Termoset (reaktoplast)**



Zařazení některých polymerů

Elastomery	Termoplasty	Reaktoplasty
polyisopren polybutadien polyisobutylen polychloropren polyurethany (elastické)	polyethylen polypropylen polystyren polymethylmethakrylát polyamidy polyvinylchlorid polyethylentereftalát triacetát celulosy	fenolformaldehydové močovinoformaldehydové melaminoformaldehydové epoxidové nenasyčené polyesterové

# Bez názvosloví to nepůjde

- **IUPAC – STRUKTURNÍ NÁZEV** > ZMÍNÍME POUZE KRÁTCE > podrobněji v předmětu „Makromolekulární chemie“ (doc. Ing. Šindelář, Ph.D.)
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV** > toto budeme používat
- **ZKRATKA POLYMERU** > toto budeme používat
- **OBCHODNÍ NÁZEV** > toto budeme ČASTO používat



# Příklad názvosloví 1

- **STRUKTURNÍ NÁZEV** - poly(methylen)
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV** – polyethylen  
(*polyetylén*)
- **ZKRATKA POLYMERU** – LDPE  
(*nízkohustotní – LD, polyethylen – PE*)
- **OBCHODNÍ NÁZEV** - Bralen NA 7-25 (*NA – zkratka použití, 7-25 – číselný kód vlastností*)

## Příklad názvosloví 2

- **STRUKTURNÍ NÁZEV** - poly(1-fenylethylen)
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV** - polystyrén
- **ZKRATKA POLYMERU** – PS
- **OBCHODNÍ NÁZEV** – Krasten 552  
(552 – použití & číselný kód vlastností)

# Jak se v tom vyznat?

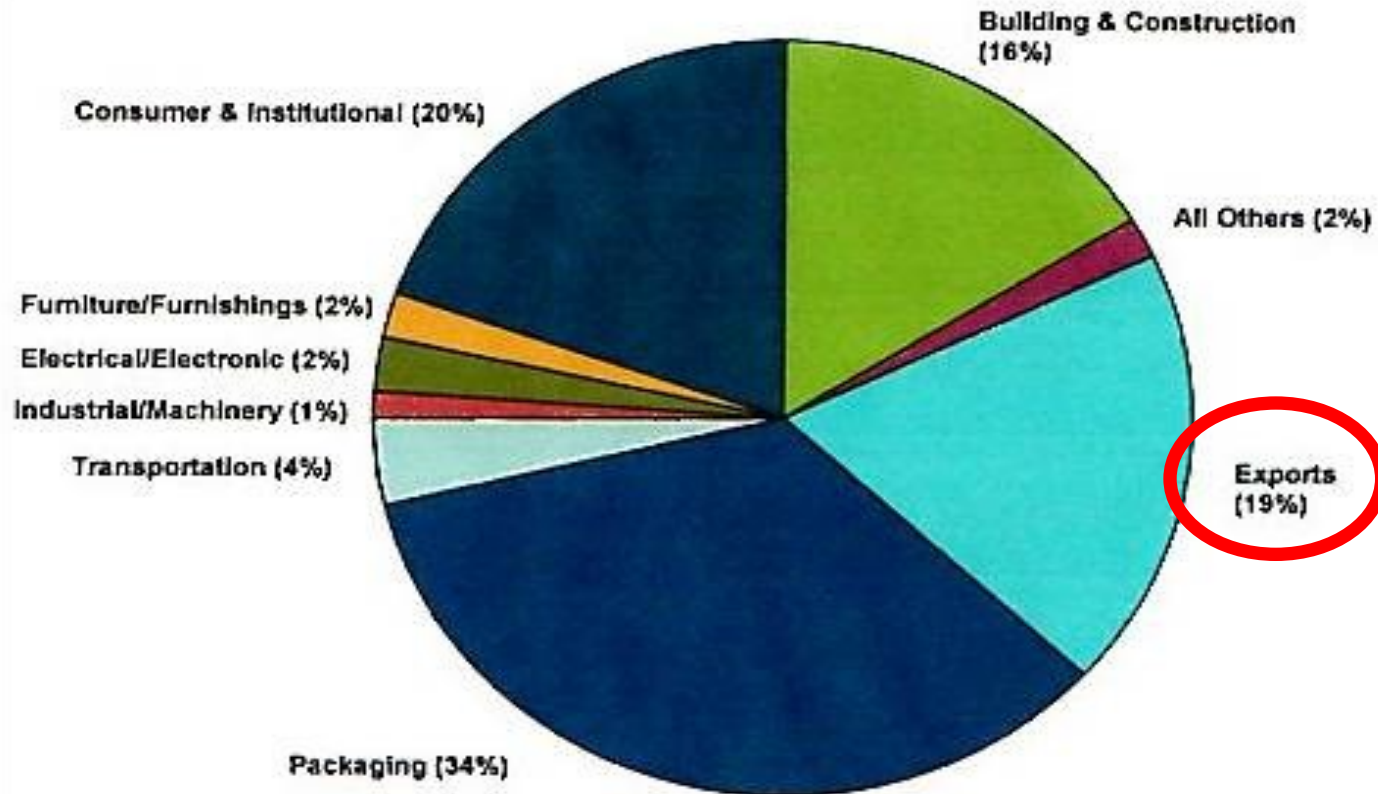
- **STRUKTURNÍ NÁZEV** - musí mít každý polymer!
- **TRIVIÁLNÍ NÁZEV** – mají jen v praxi běžně používané polymery
- **ZKRATKA POLYMERU** – mají spíše jen průmyslově běžně používané polymery, ale jsou VÝJÍMKY
- **OBCHODNÍ NÁZEV** – mají jen průmyslově VYRÁBĚNÉ MATERIÁLY

# Na co se spotřebovává ropa?

- **Kolik tun ropy spotřebuje cca. ročně ČR?**
- **Jaký podíl ropy se spotřebuje na plasty v ČR?**
- **Jaké plasty vyrábíme v ČR?**

- ..... **t/rok**
- ..... **%**
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....
- .....

# Proč se o toto zajímat - 2



**Data z  
USA –  
rok  
2015**

**Roční  
výroba  
plastů je  
nyní cca.  
300  
milionů  
tun**

Thermoplastic resins included in graph:

- Low Density Polyethylene (LDPE)
- Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)
- High Density Polyethylene (HDPE)
- Polypropylene (PP)
- Polystyrene (PS)
- Expandable Polystyrene (EPS)
- Polyvinyl Chloride (PVC)

# Proč se o toto zajímat - 3

## U.S. RESIN PRODUCTION, SALES & CAPTIVE USE

(millions of pounds, dry weight basis)(1)

Vlastní použití, asi v USA

Resin	Production			Total Sales & Captive Use		
	2014	2013	% Chg 14/13	2014	2013	% Chg 14/13
Epoxy (2)	561	499	12.4	532	484	9.9
Other Thermosets (5)	15,253	14,476	5.4	15,201	14,433	5.3
<b>Total Thermosets</b>	<b>15,814</b>	<b>14,975</b>	<b>5.6</b>	<b>15,733</b>	<b>14,917</b>	<b>5.5</b>
LDPE (2)(3)	7,112	6,919	2.8	6,967	6,940	0.4
LLDPE (2)(3)	13,856	13,853	0.0	13,731	13,833	-0.7
HDPE (2)(3)	17,514	17,899	-2.2	17,599	17,810	-1.2
PP (2)(4)	16,446	16,427	0.1	16,356	16,396	-0.2
PS (2)(4)	4,455	4,515	-1.3	4,437	4,581	-3.1
EPS (2)(3)	953	890	7.1	945	899	5.1
Nylon (2)(4)	1,299	1,238	4.9	1,301	1,242	4.8
PVC (3)	15,038	15,373	-2.2	14,994	15,255	-1.7
Other Thermoplastics (6)	15,625	15,433	1.2	16,913	16,787	0.8
<b>Total Thermoplastics</b>	<b>92,298</b>	<b>92,547</b>	<b>-0.3</b>	<b>93,243</b>	<b>93,743</b>	<b>-0.5</b>
<b>GRAND TOTAL PLASTICS</b>	<b>108,112</b>	<b>107,522</b>	<b>0.5</b>	<b>108,976</b>	<b>108,660</b>	<b>0.3</b>

**Data z  
USA – rok  
2014**

**Roční  
výroba  
plastů je  
nyní cca.  
300  
milionů  
tun**

**POZOR! ÚDAJE JSOU v pounds (0,453 g)!**

# Data z USA (růst 2013>2014)

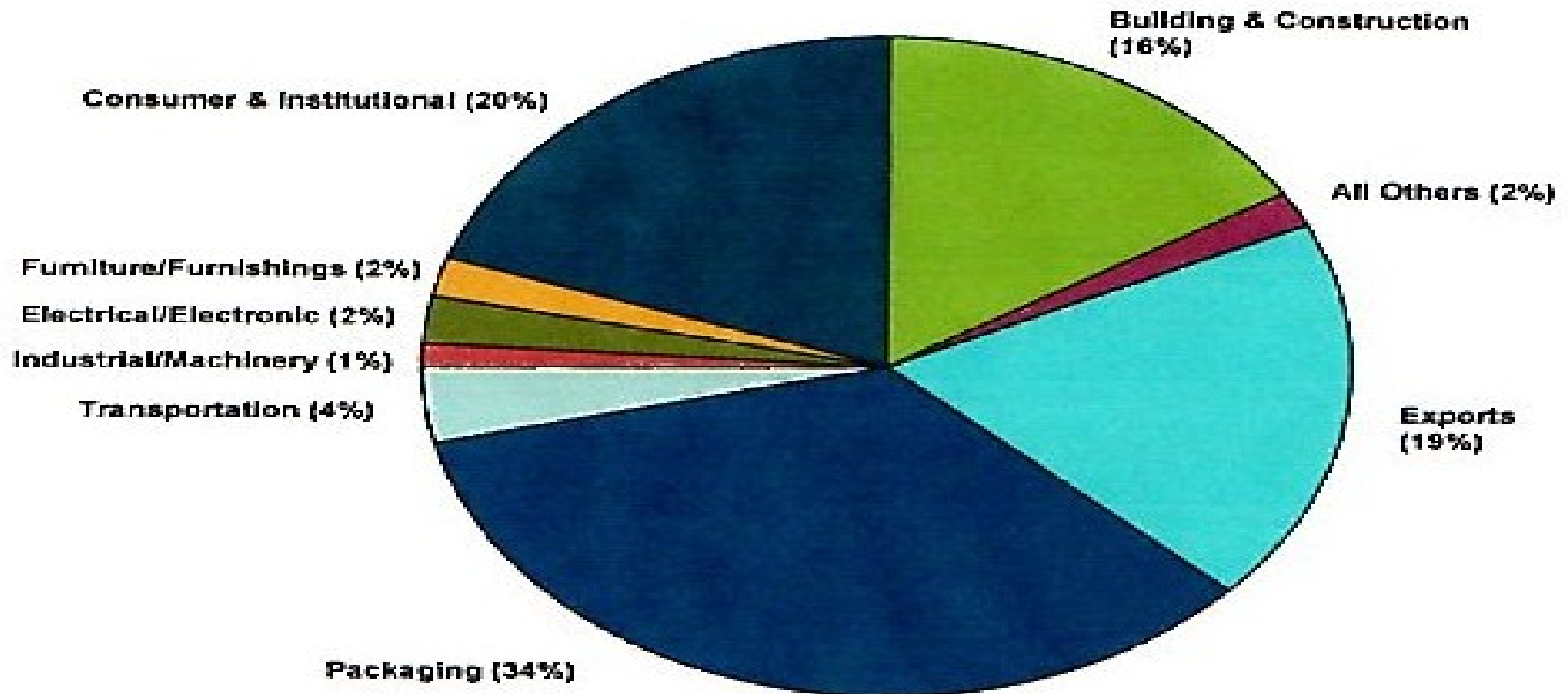
## U.S. RESIN PRODUCTION, SALES & CAPTIVE USE

(millions of pounds, dry weight basis)(1)

Resin	Production			Total Sales & Captive Use		
	2014	2013	% Chg 14/13	2014	2013	% Chg 14/13
Epoxy (2)	561	499	12.4	532	484	9.9
Other Thermosets (5)	15,253	14,476	5.4	15,201	14,433	5.3
<b>Total Thermosets</b>	<b>15,814</b>	<b>14,975</b>	<b>5.6</b>	<b>15,733</b>	<b>14,917</b>	<b>5.5</b>
LDPE (2)(3)	7,112	6,919	2.8	6,967	6,940	0.4
LLDPE (2)(3)	13,856	13,853	0.0	13,731	13,833	-0.7
HDPE (2)(3)	17,514	17,899	-2.2	17,599	17,810	-1.2
PP (2)(4)	16,446	16,427	0.1	16,356	16,396	-0.2
PS (2)(4)	4,455	4,515	-1.3	4,437	4,581	-3.1
EPS (2)(3)	953	890	7.1	945	899	5.1
Nylon (2)(4)	1,299	1,238	4.9	1,301	1,242	4.8
PVC (3)	15,038	15,373	-2.2	14,994	15,255	-1.7
Other Thermoplastics (6)	15,625	15,433	1.2	16,913	16,787	0.8
<b>Total Thermoplastics</b>	<b>92,298</b>	<b>92,547</b>	<b>-0.3</b>	<b>93,243</b>	<b>93,743</b>	<b>-0.5</b>
<b>GRAND TOTAL PLASTICS</b>	<b>108,112</b>	<b>107,522</b>	<b>0.5</b>	<b>108,976</b>	<b>108,660</b>	<b>0.3</b>

**CAPTIVE = A subsidiary that serves only its parent company**

# Data z USA

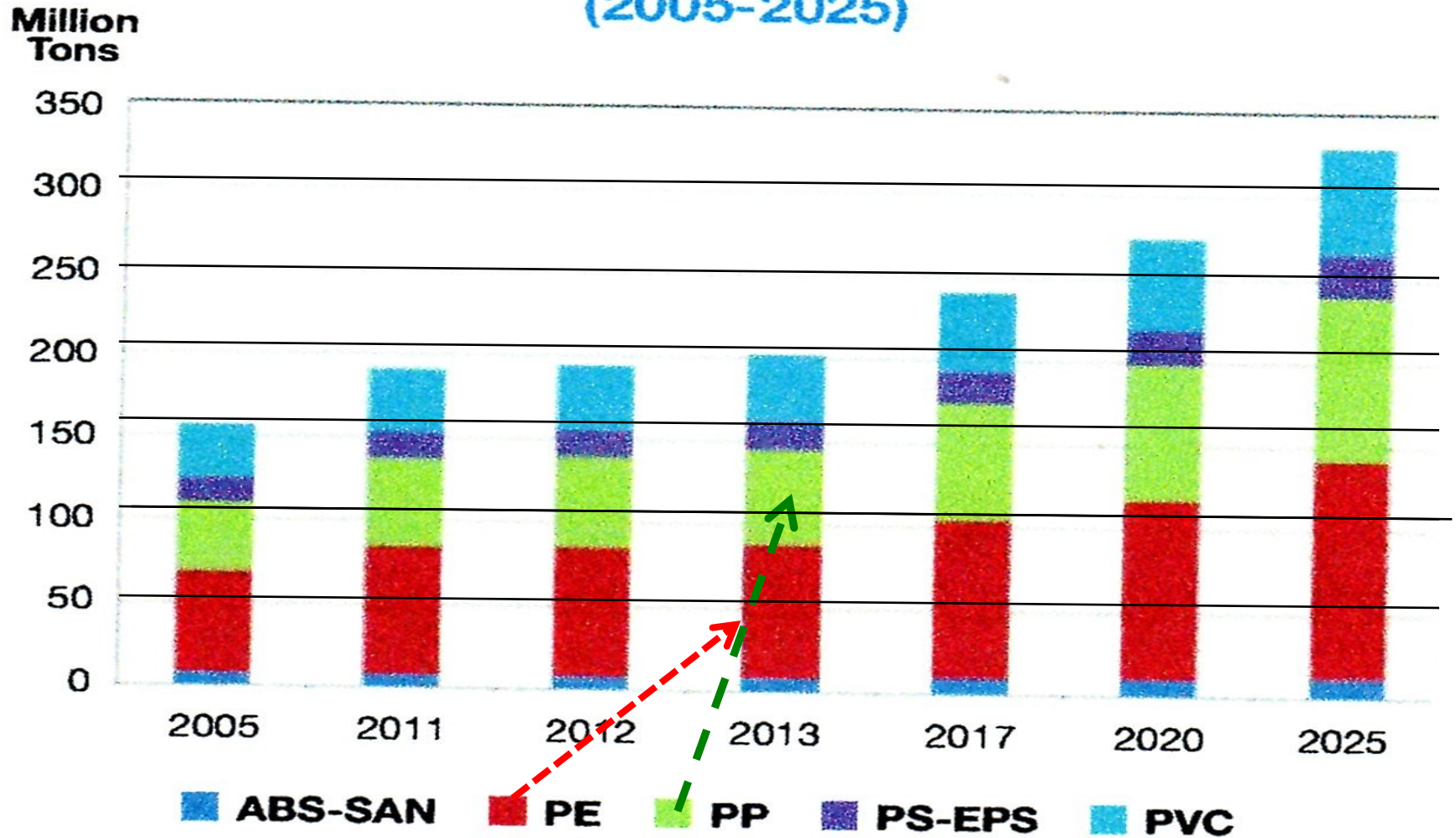


## Thermoplastic resins included in graph:

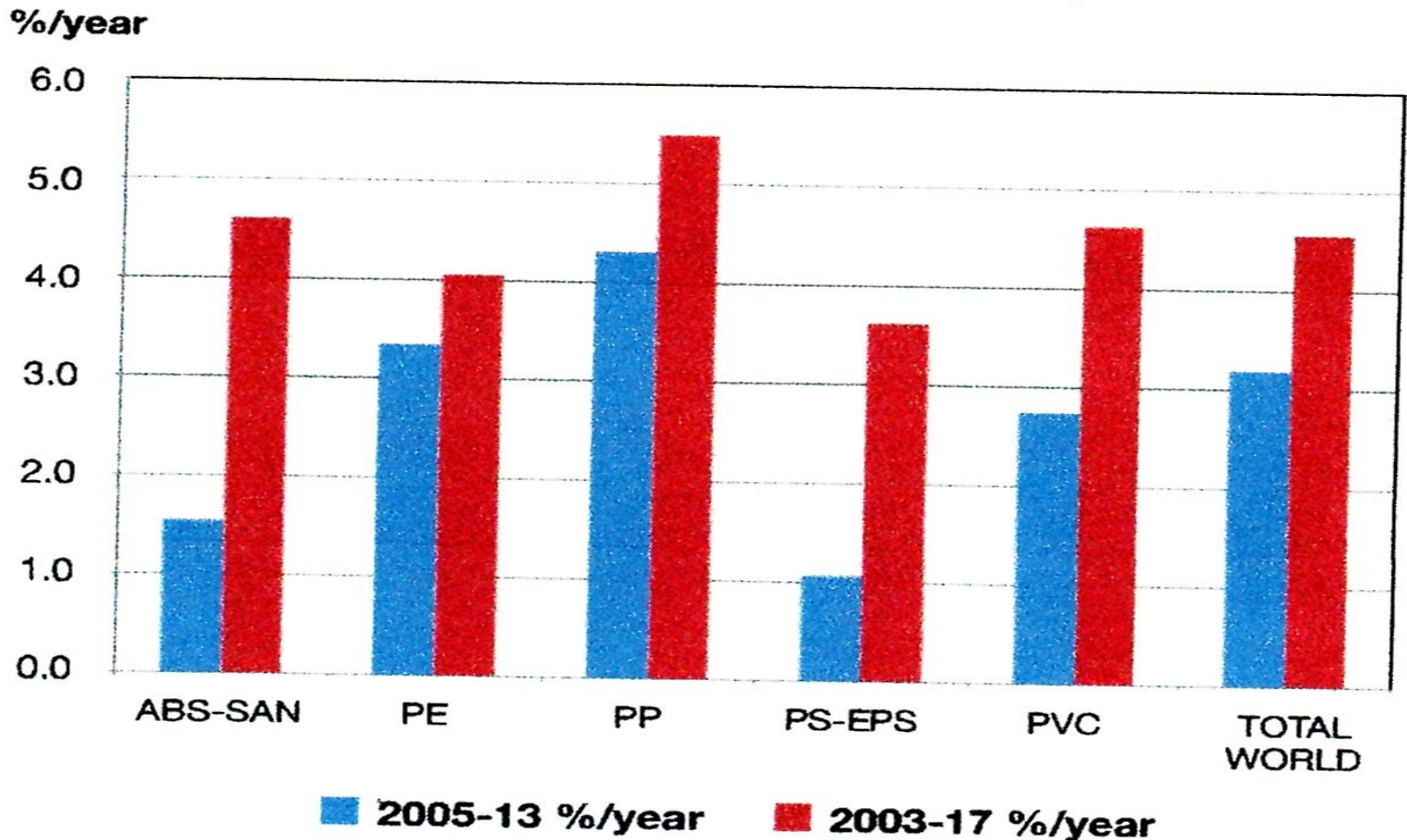
- Low Density Polyethylene (LDPE)
- Linear Low Density Polyethylene (LLDPE)
- High Density Polyethylene (HDPE)
- Polypropylene (PP)
- Polystyrene (PS)
- Expandable Polystyrene (EPS)
- Polyvinyl Chloride (PVC)



## Major Thermoplastics – World Demand Distribution, by Polymer (2005-2025)



# Major Thermoplastics – World Consumption Growth Rate, by Polymer (2005-2013 vs 2013-2017)



# Rozdělení

## Monomer, oligomer, makromolekula, polymer, plast

- Monomer – molekula (*molekuly*) mající schopnost opakovaním reakce vytvářet lineární či větvenou makromolekulu či oligomer
- Oligomer – spojení 2 – 10 molekul (monomeru)
- Makromolekula – molekula vzniklá spojováním menších molekul (monomerů) ve velkou molekulu, > 10 jednotek monomeru
- Polymer – látka složená z makromolekul, látka bez aditiv

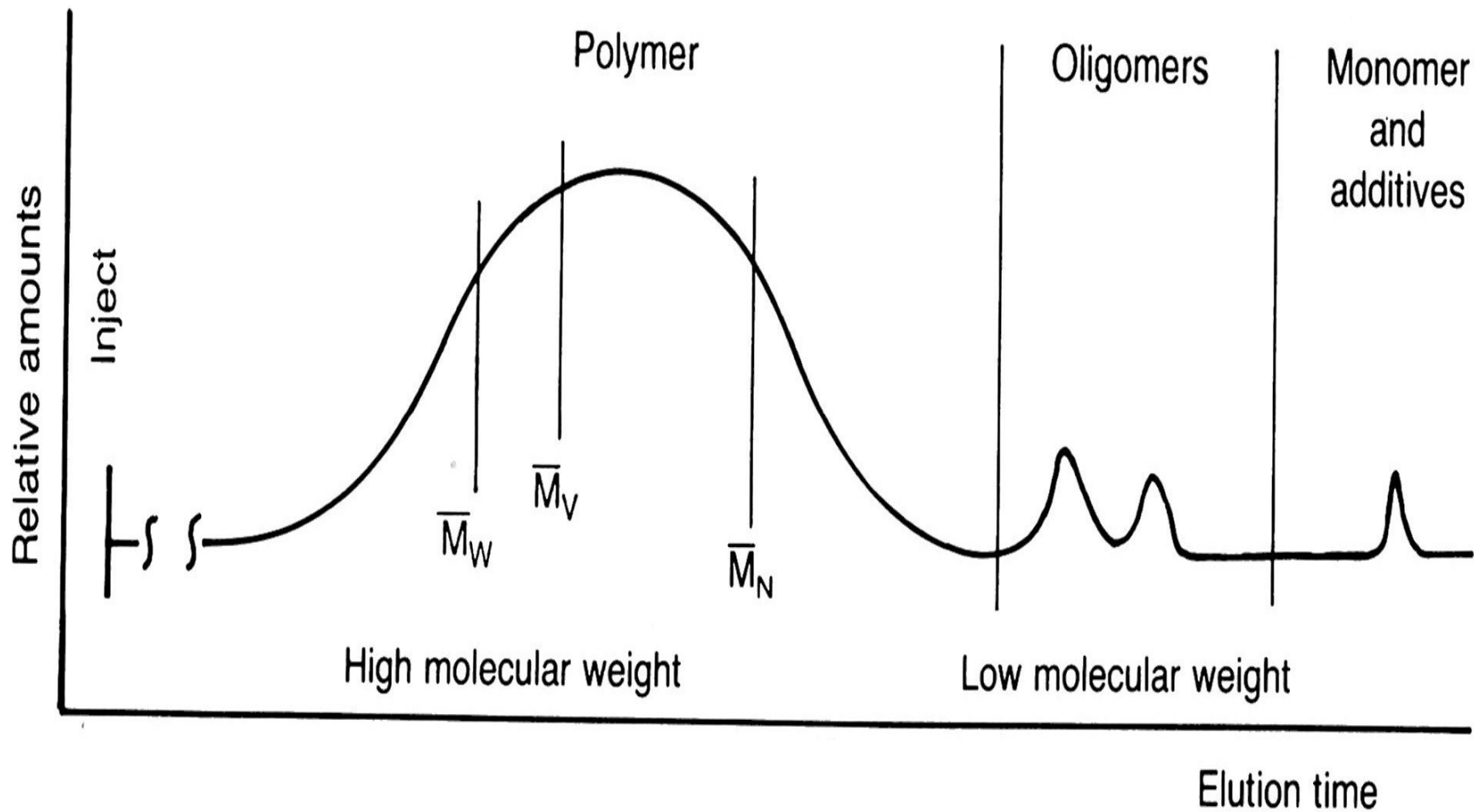


FIGURE 4.10. Molecular weight information available with gel permeation chromatography.  $M_n$ , Number average;  $M_v$ , viscosity average;  $M_w$ , weight average. Adapted from Waters Division of Millipore Corp. Milford, MA.

# MWD = DISTRIBUCE MOLEKULOVÝCH HMOTNOSTÍ

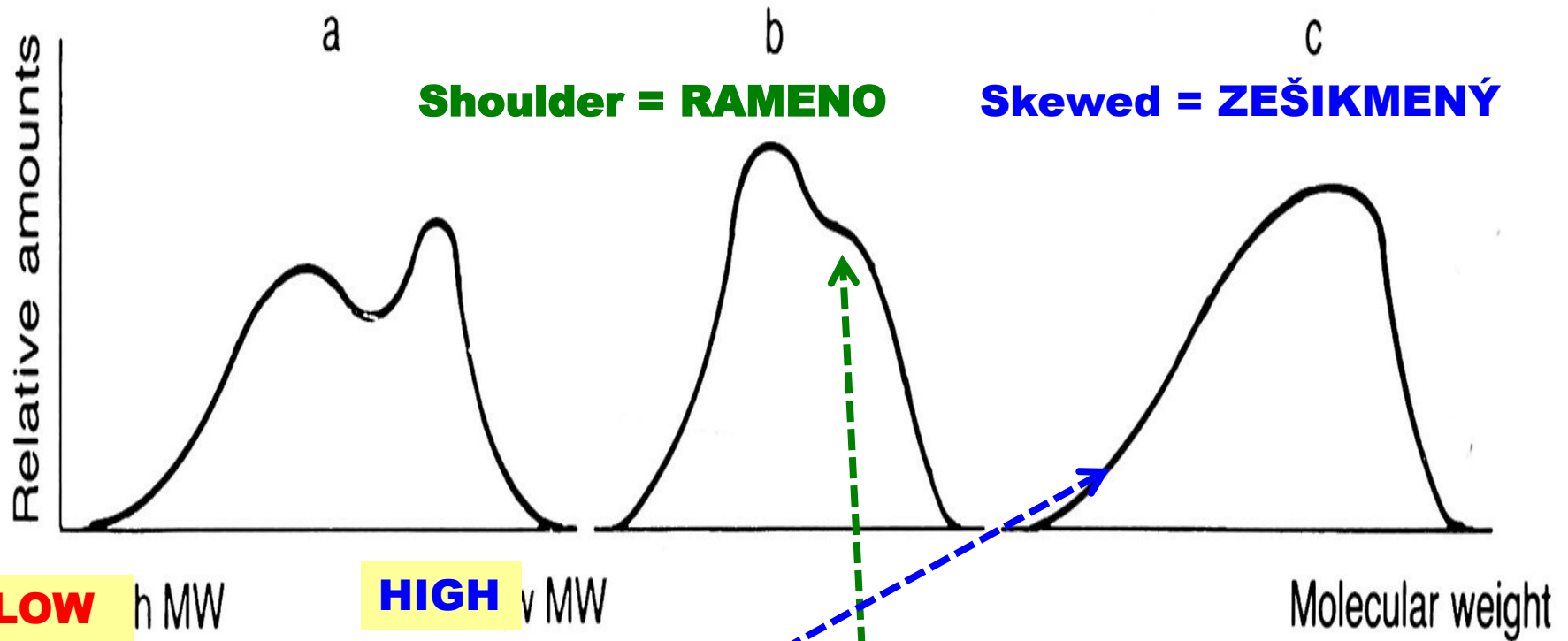


FIGURE 4.11. Molecular weight distribution curves for (a) multiple peak polymer (polymer blend, bimodal polymer), (b) shoulder at high-molecular-weight side, and (c) skewed distribution toward the low-molecular-weight side.

# Rozdělení

- **PLAST** – polymer + aditiva (*EXISTUJÍ VÝJÍMKY*)
- **Plasty**
  - TERMOPLASTY
  - TERMOSETY
- ***Vulkanizáty (elastomery)***
  - ***Kaučuk*** (je také elastomer, ale s menší VRATNOU DEFORMACÍ než mají VULKANIZÁTY)
  - ***Kaučuk + VULKANIZEČNÍ PŘÍSADY > PRYŽ = VULKANIZOVANÝ KAUČUK***

# TROCHU CIZOJAZYČNÉ TERMINOLOGIE 1

Polymer	Polymer
Polymerace	Polymerization
Název podle Americké chemické společnosti (liší se od IUPAC názvu)	ACS name ( <i>American Chemical Society Name</i> )
Plast, obvykle TERMOPLAST	<u>Plastic</u> , <u>Thermoplastic</u> ( <u>Resin am.</u> )
Pryskyřice, TERMOSET ( <u>rozdíl od např. přírodních pryskyřic</u> )	<u>Thermoset</u> , <u>Thermosetting plastic</u> , ( <u>Resin am.</u> )
Tavenina	Melt
Zpracování	Processing
Vlastnost	Property
Tuhost	Stiffness
Tvrдость	Hardness
Průhlednost	Transparency, Optical clarity
Houževnatost	Impact strength

# SLOVNÍKY

## Elektronické

**Lingea Lexikon,**  
2. vydání,  
včetně  
technického a  
ekonomického  
slovníku

## Tištěné

- Slovník vstřikování plastů  
ISBN 80-7225-153-8
- Anglicko – český  
automobilový slovník ISBN  
80-7226-52-9
- Anglicko – český letecký  
slovník ISBN 80-85927-92-6
- Anglicko – český velký  
chemický slovník ISBN 978-  
80-7080-793-4



# Je to tvrdé nebo je to měkké

## Je to tvrdé

„Je to tvrdé, tak je to  
BAKELIT“

Toto je typický laický  
výraz, kterého by se  
měl kvalifikovaný  
chemik (alespoň Bc.)  
VYVAROVAT

Vynálezce Leo Hendrik  
Baekeland >  
fenolformaldehydová  
pryskyřice (TERMOSET)

## Je to měkké

„Je to měkké, tak je to  
IGELIT“

Toto je typický laický  
výraz, kterého by se  
měl kvalifikovaný  
chemik (alespoň Bc.)  
VYVAROVAT

Výrobce IG Farben >  
měkčené PVC  
>obchodní název s ®  
(firma už NEXISTUJE!)

# Vzhůru k názvosloví 1!

## Polymer

Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)

Acrylic (PMMA)

Celluloid

Cellulose acetate

Polyurethane (PU)

Ethylene-Vinyl Acetate (EVA)

Ethylene vinyl alcohol (EVOH)

Fluoroplastics (PTFE, alongside with FEP, PFA, CTFE, ECTFE, ETFE)

Polyvinyl acetate (PVA)

Polyoxymethylene (POM or Acetal)

Polyphenylene oxide (PPO)

# Vzhůru k názvosloví 2!

## Polymer

Polyamide (PA or Nylon)

Polybutadiene (PBD)

Polybutylene (PB)

Polycaprolactone (PCL)

Polyethylene terephthalate (PET) (**PETP**)

Polycarbonate (PC)

Polyethylene (PE)

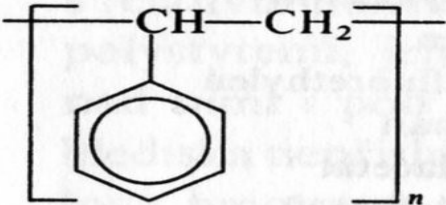
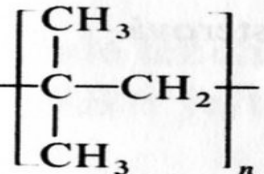
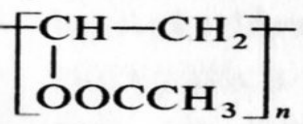
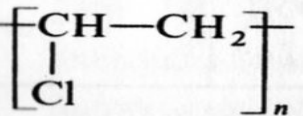
Polyactic acid (PLA)

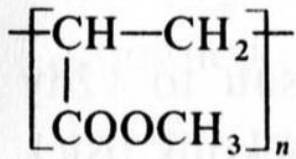
Polypropylene (PP)

Polystyrene (PS)

Polyvinyl chloride (PVC)

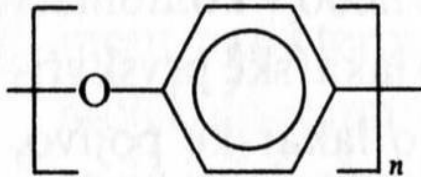
Tab. 1.3 Nomenklatura polymerů

Struktura polymeru	Triviální název	Strukturní název
$-\text{[CH}_2\text{]}_n-$	polymethylen	poly(methylen)
$-\text{[CH}_2\text{CH}_2\text{]}_n-$	polyethylen	poly(ethylen)
	polystyren	poly(1-fenylethylen)
$-\text{[CH(OH)-CH}_2\text{]}_n-$	polyvinylalkohol	poly(1-hydroxyethylen)
$-\text{[CH(CN)-CH}_2\text{]}_n-$	polyakrylonitril	poly(1-kyanoethylen)
$-\text{[OCH}_2\text{]}_n-$	polyformaldehyd	poly(oxymethylen)
$-\text{[OCH}_2\text{CH}_2\text{]}_n-$	polyethylenoxid	poly(oxyethylen)
	polyisobutylen	poly(1,1-dimethylethylen)
$-\text{[CH=CH-CH}_2\text{CH}_2\text{]}_n-$	polybutadien	poly(1-butenylen)
	polyvinylacetát	poly(1-acetoxyethylen)
	polyvinylchlorid	poly(1-chlorethylen)



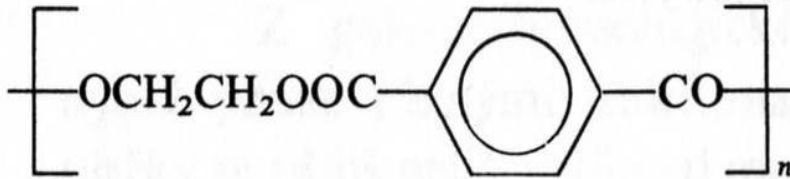
polymethylakrylát

poly[1-(methoxykarbonyl)ethylen]



polyfenylenoxid

poly(oxy-1,4-fenylen)



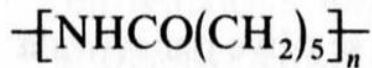
polyethylen-  
tereftalát

poly(oxyethylenoxy-  
tereftaloyl)



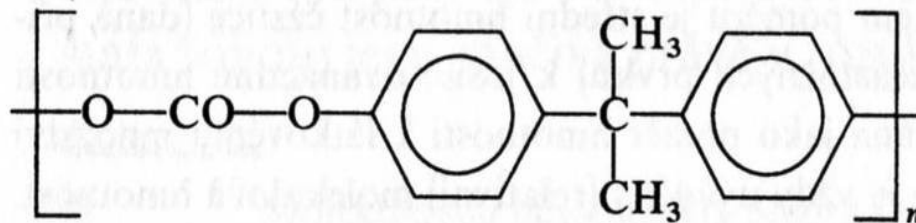
polyhexamethylen-  
adipamid

poly(iminohexamethylen-  
iminoadipoyl)



poly-6-kaprolaktam

poly[imino(1-oxohexa-  
metylen)]



polykarbonát  
z dianu

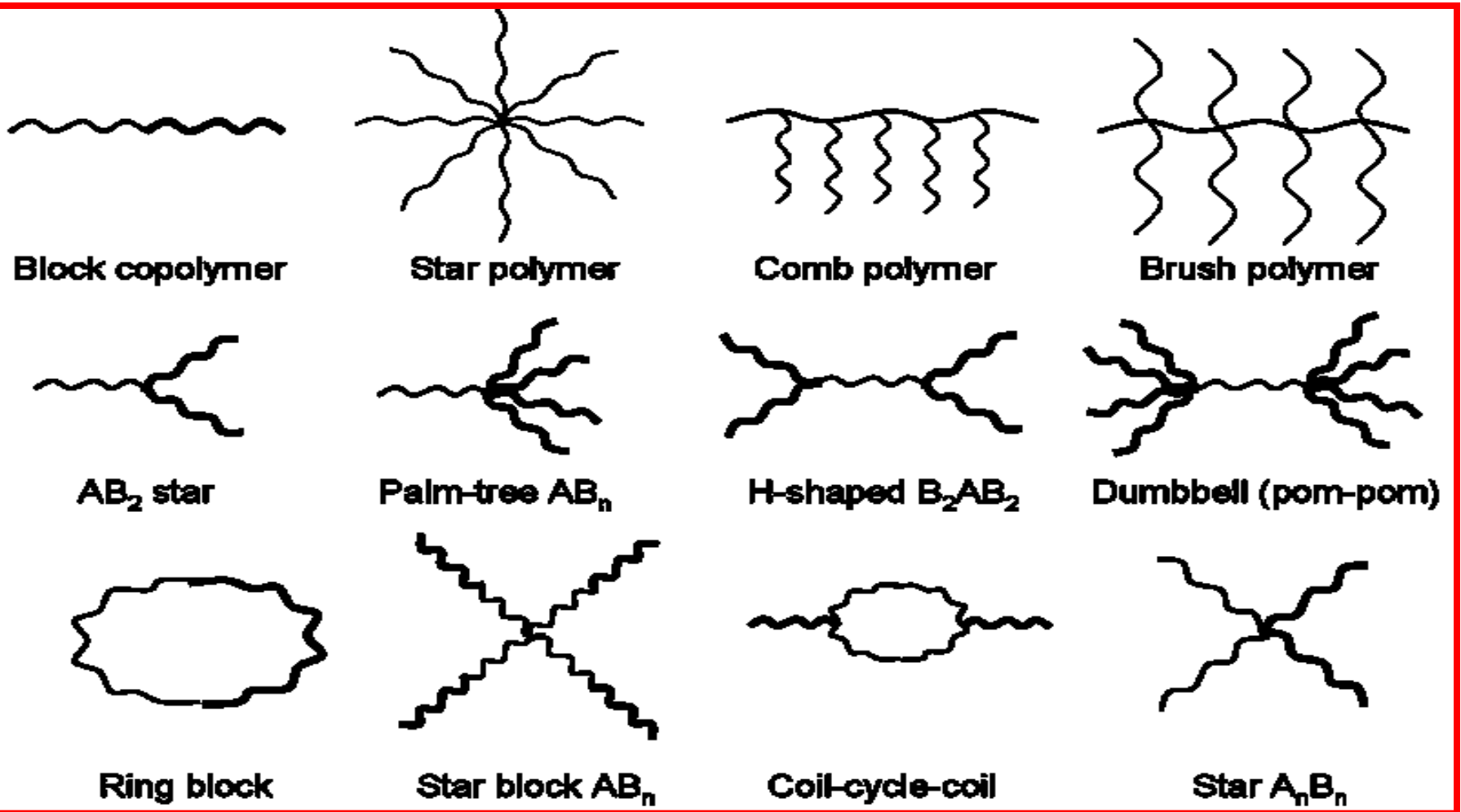
poly(oxykarbonyloxy-  
-1,4-fenylen-isopropyliden-  
-1,4-fenylen)

Tab. 1.4 Zkratky nejvýznamnějších polymerů

CA	– acetát celulosy	POM	– polyformaldehyd
CAB	– acetobutyrát celulosy	PP	– polypropylen
CMC	– karboxymethylcelulosa	PPO	– polyfenylenoxid
CN	– nitrát celulosy	PPOX	– polypropylenoxid
EC	– ethylcelulosa	PS	– polystyren
EP	– epoxidová pryskyřice	PTFE	– polytetrafluorethylen
MF	– melaminformaldehydová pryskyřice	PUR	– polyurethan
PA	– polyamid	PVAC	– polyvinylacetát
PAN	– polyakrylonitril	PVAL	– polyvinylalkohol
PC	– polykarbonát	PVB	– polyvinylbutyral
PCTFE	– polychlortrifluorethylen	PVC	– polyvinylchlorid
PDAP	– polydiallylftalát	PVDC	– polyvinylidenchlorid
PE	– polyethylen	PVF	– polyvinylfluorid
PEOX	– polyethylenoxid	PVFM	– polyvinylformal
PETP	– polyethylentereftalát	SI	– silikony
PF	– fenolformaldehydová pryskyřice	UF	– močovinoformaldehydová pryskyřice
PIB	– polyisobutylen	UP	– nenasycená polyesterová pryskyřice
PMMA	– polymethylmethakrylát		

<b>ABS</b>	– terpolymer akrylonitril-butadien-styren
<b>E/P</b>	– kopolymer ethylen-propylen
<b>S/B</b>	– kopolymer styren-butadien
<b>E/VAC</b>	– kopolymer ethylen-vinylacetát
<b>SAN</b>	– kopolymer styren-akrylonitril
<b>VC/VAC</b>	– kopolymer vinylchlorid-vinylacetát

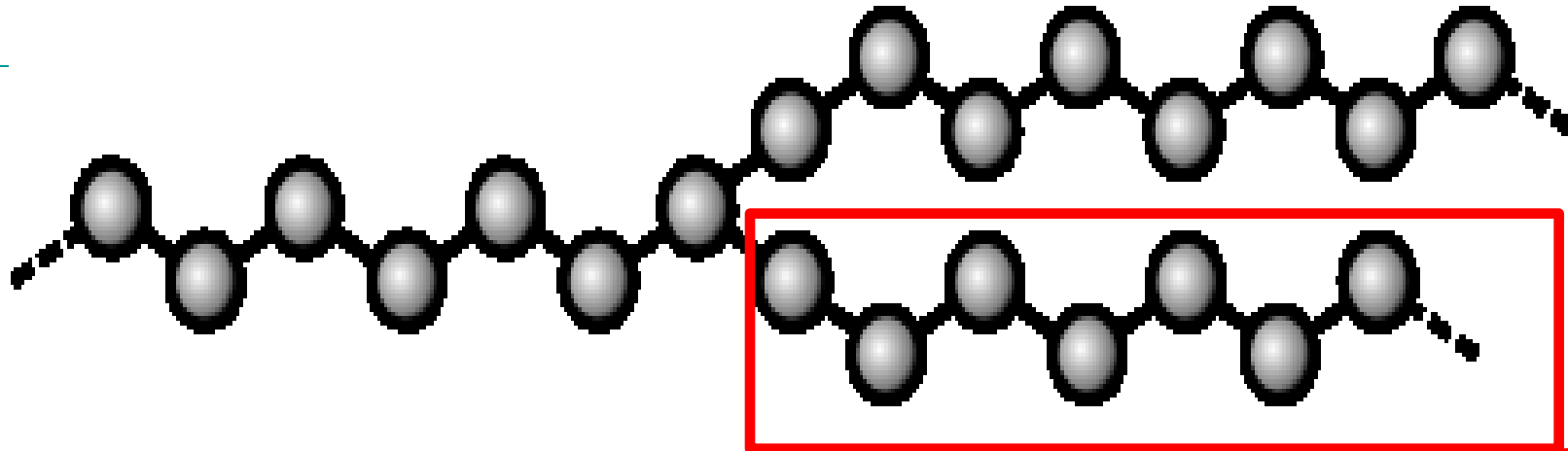
# STRUKTURA Polymerů 1



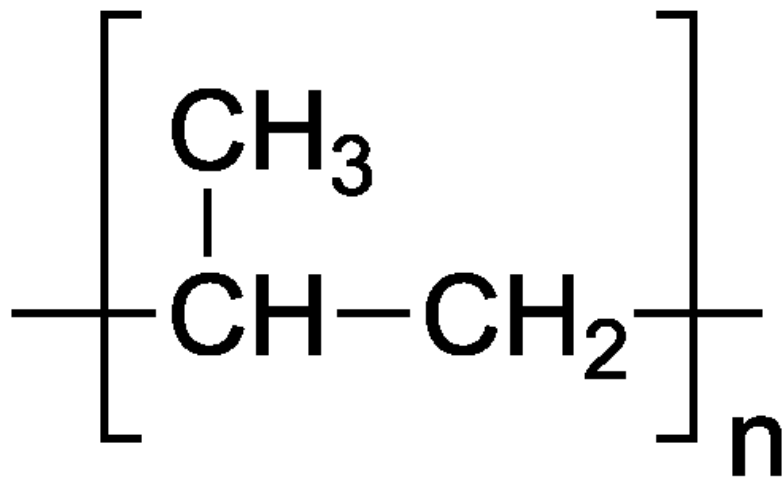
To přenecháme do MAKROMOLEKULÁRNÍ CHEMIE



# STRUKTURA Polymerů 2

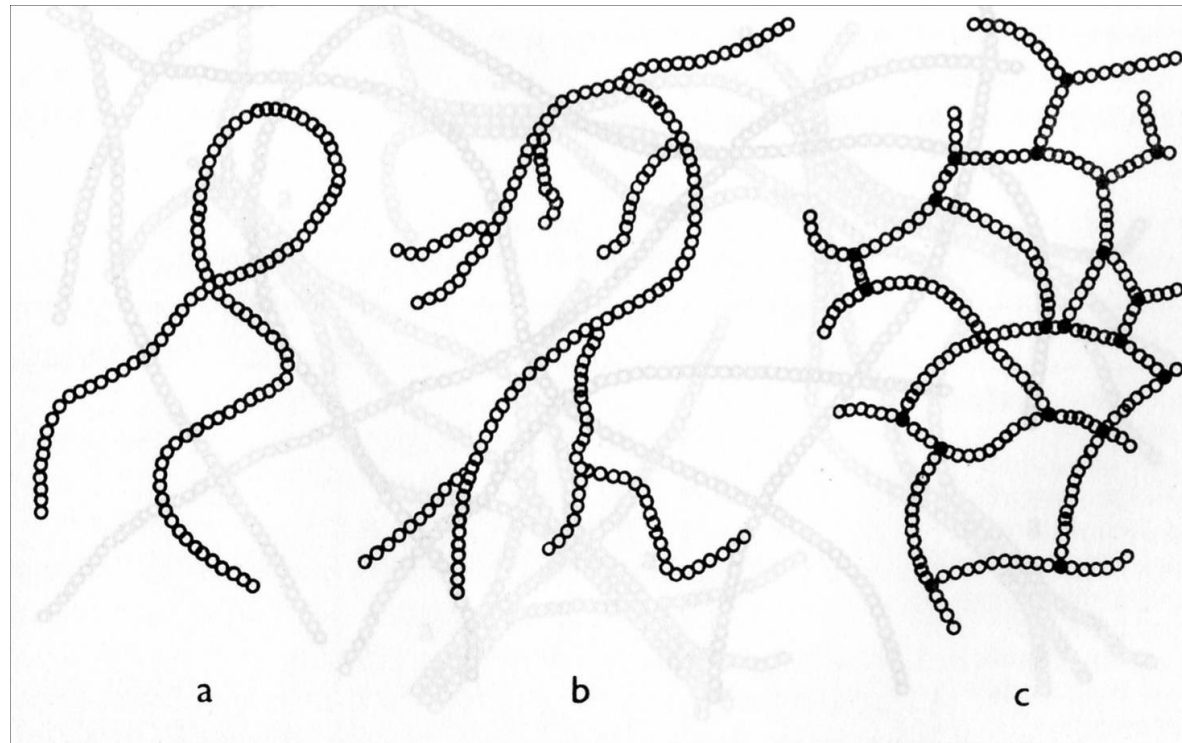


Větvení makromolekuly



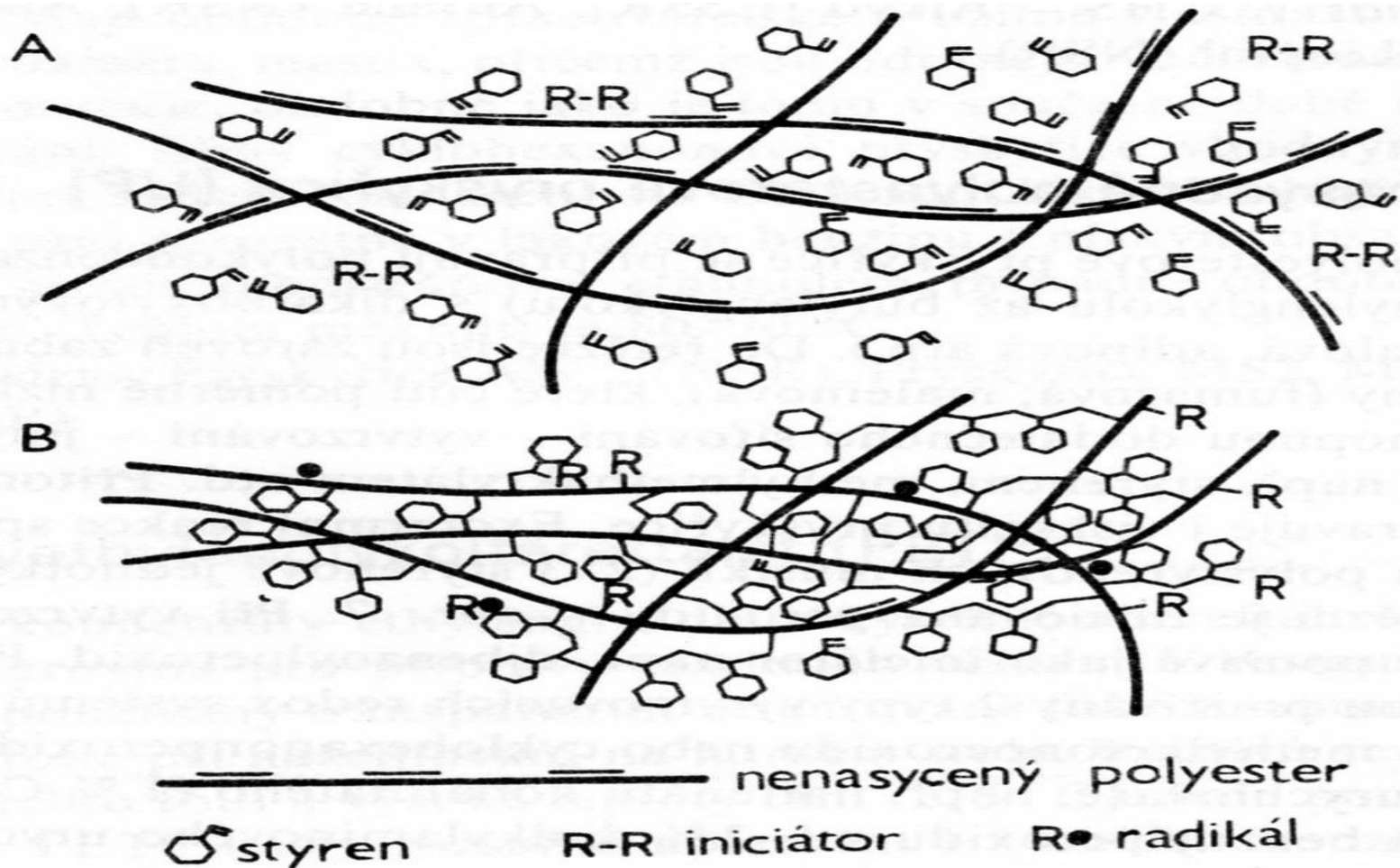
**POLYPROPYLEN –  
obvykle není větvený**

# STRUKTURA Polymerů 3



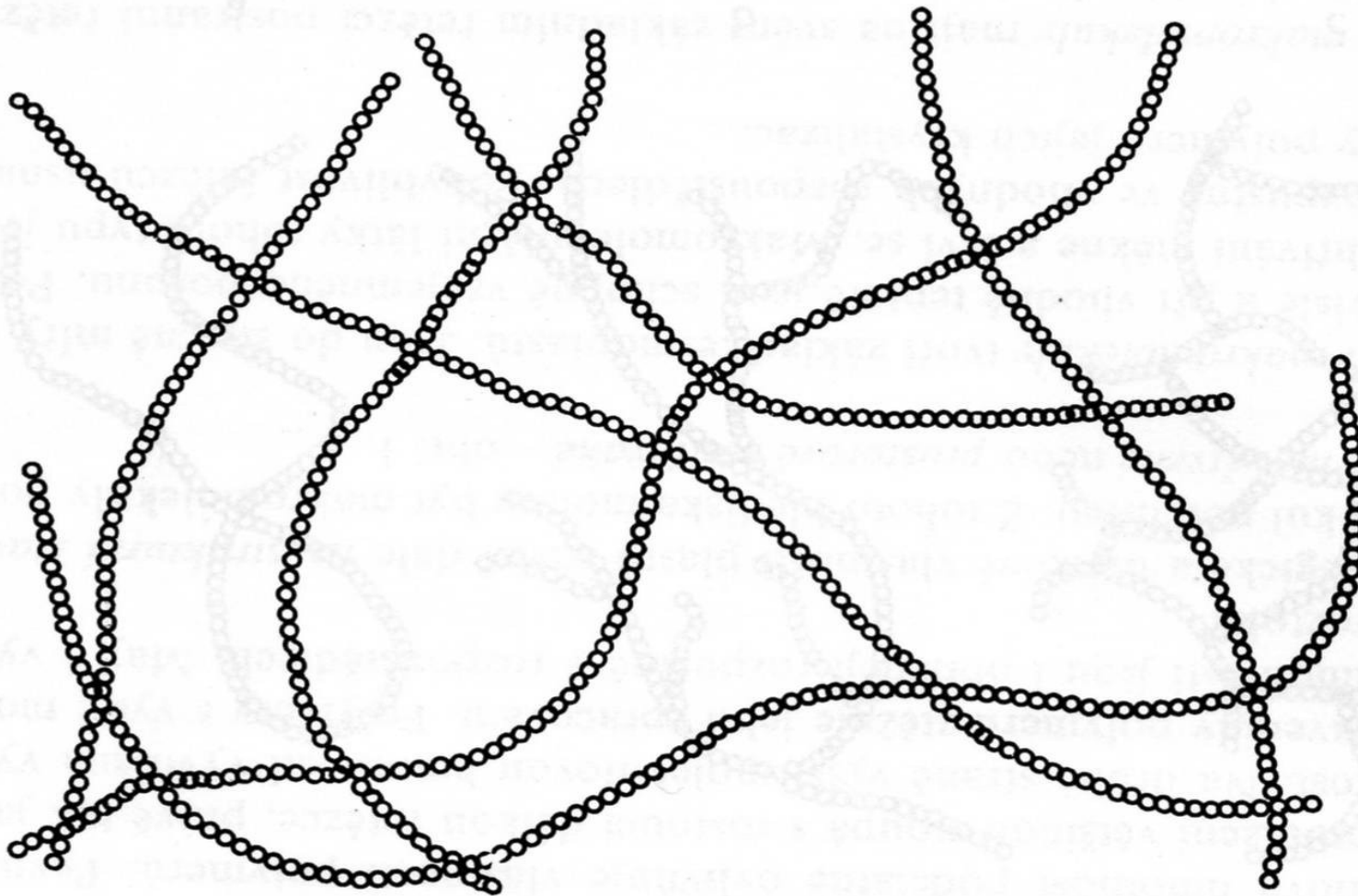
**a – lineární, b – větvená, c - síťovaná**

# STRUKTURA Polymerů 4

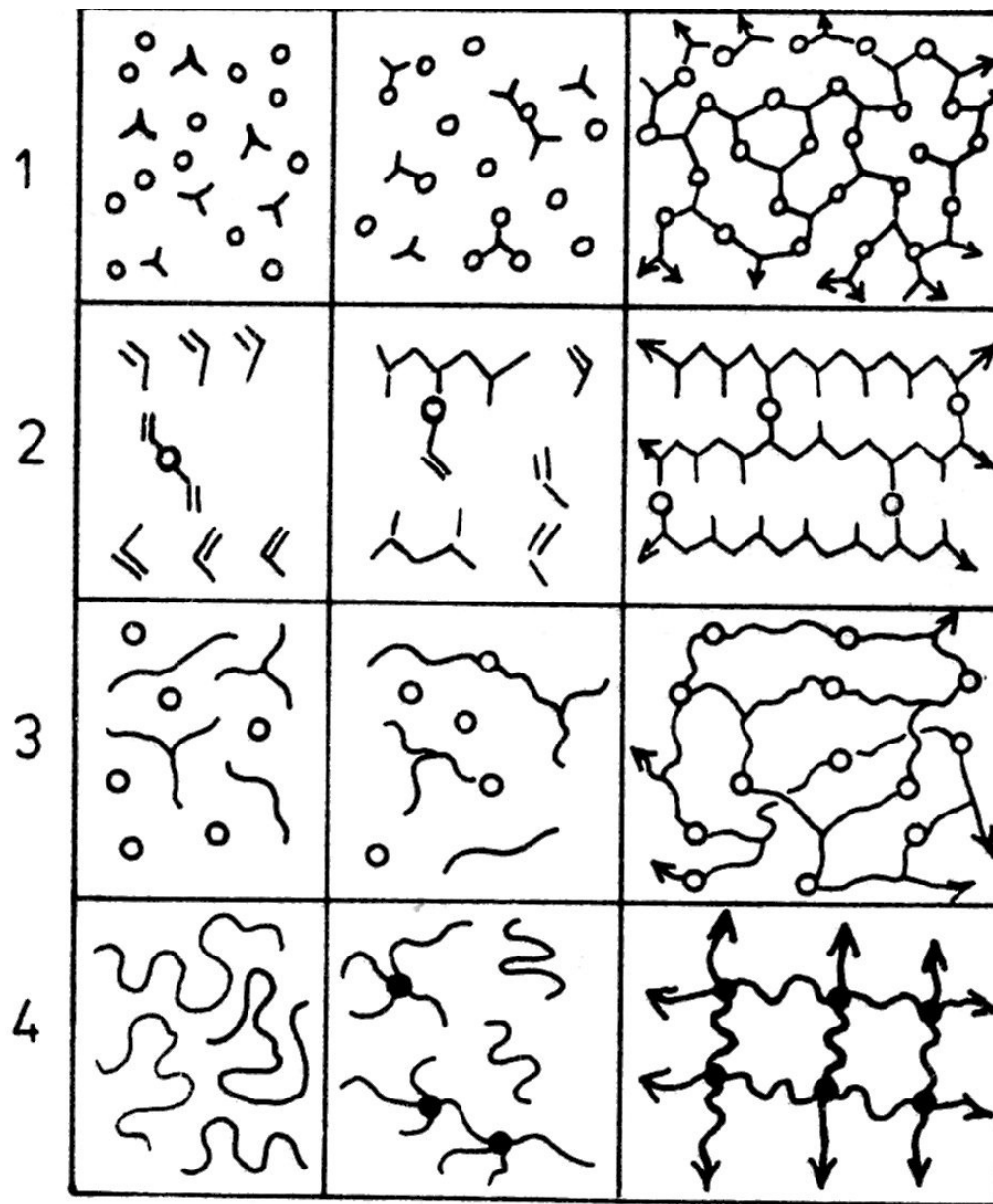


## Sít'ovaná struktura polyesteru

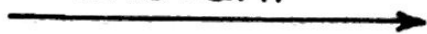
# STRUKTURA Polymerů 5



## Lineární amorfní polymer - struktura



síťování



1 – polykondenzace nebo polyadice  
 nízkomolekulárních látek ( $M$  řádu  $10^2 \text{ g mol}^{-1}$ ),  
 2 – síťující kopolymerace typu  
 styren–divinylbenzen, 3 – spojování reaktivně  
 končených předpolymerů, zpravidla polyadiční  
 reakcí ( $M$  řádu  $10^3 \text{ g mol}^{-1}$ ), 4 – nahodilé  
 síťování vysokomolekulárních polymerů  
 ( $M$  řádu  $10^5 \text{ g mol}^{-1}$ )

1. Postupnými reakcemi nízkomolekulárních látek. Polyadičními či polykondenzačními reakcemi vznikají např. epoxidové a fenolové pryskyřice. Jejich síť se dokončuje ve vytvrzovacím kroku.

2. Polymerační řetězovou reakcí, síťovací polymerací. Například kopolymerací styrenu s divinylbenzenem vznikají hmoty použitelné pro měniče iontů, kopolymerací hydroxyethylmethakrylátu s glykoldimethakrylátem hydrofilní gely používané v lékařství.

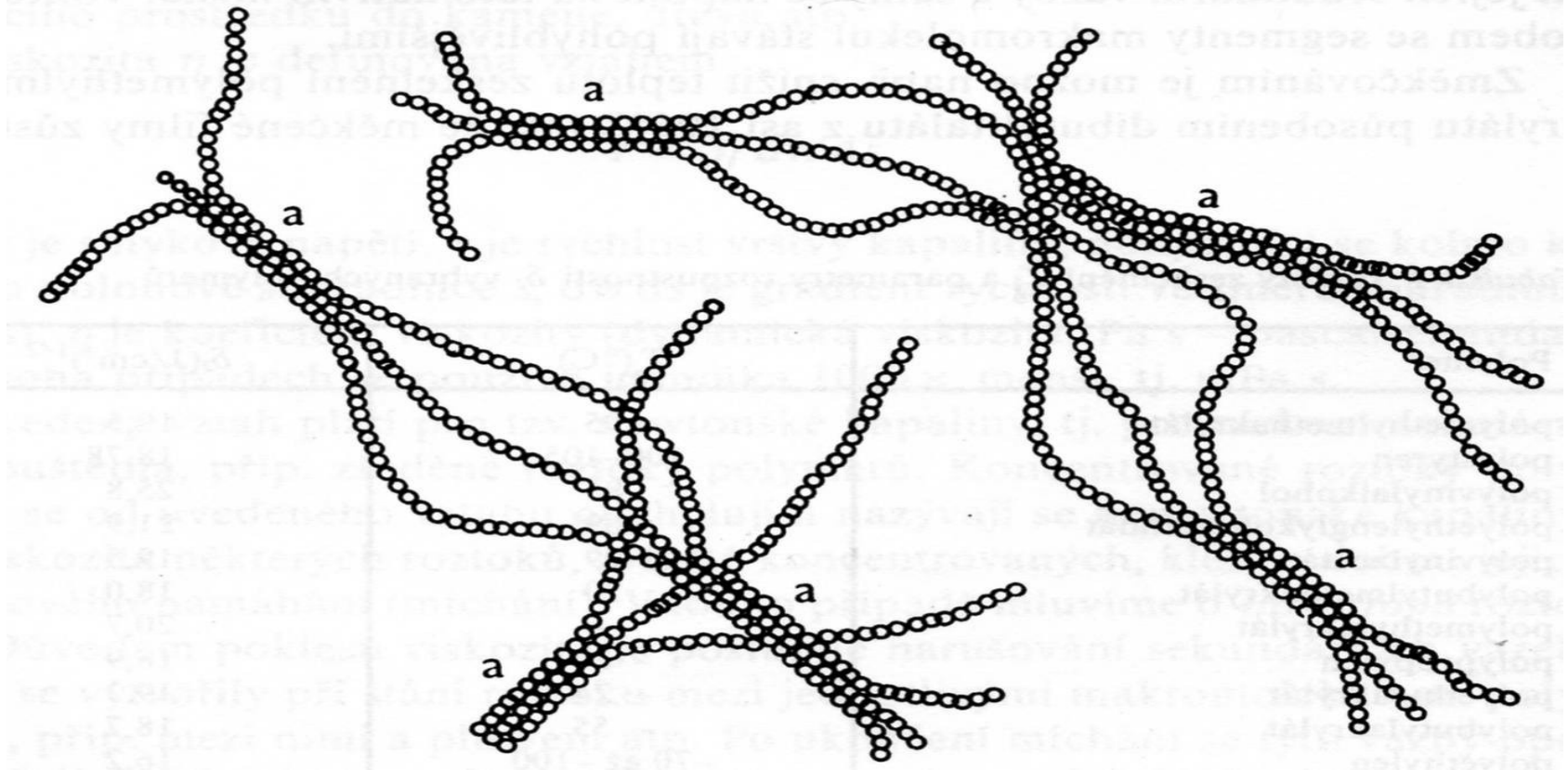
3. Spojováním reaktivních konců nízkomolekulárních polymerů o molární hmotnosti řádu  $10^3 \text{ g mol}^{-1}$ . Proces vzniku sítě je formálně podobný jako v případě 1. Například ze směsi polyetherdiolu, polyethertriolu a diisokyanátu mohou vzniknout polyurethanové materiály buď kaučukovité, nebo tvrdé.

4. Zavedením *příčných vazeb* do vysokomolekulárních polymerů. Vulkanizací kaučuků vzniká pryž, ozářením zesíťovaný polyethylen apod.

Ve všech čtyřech případech probíhají při síťování tyto děje:

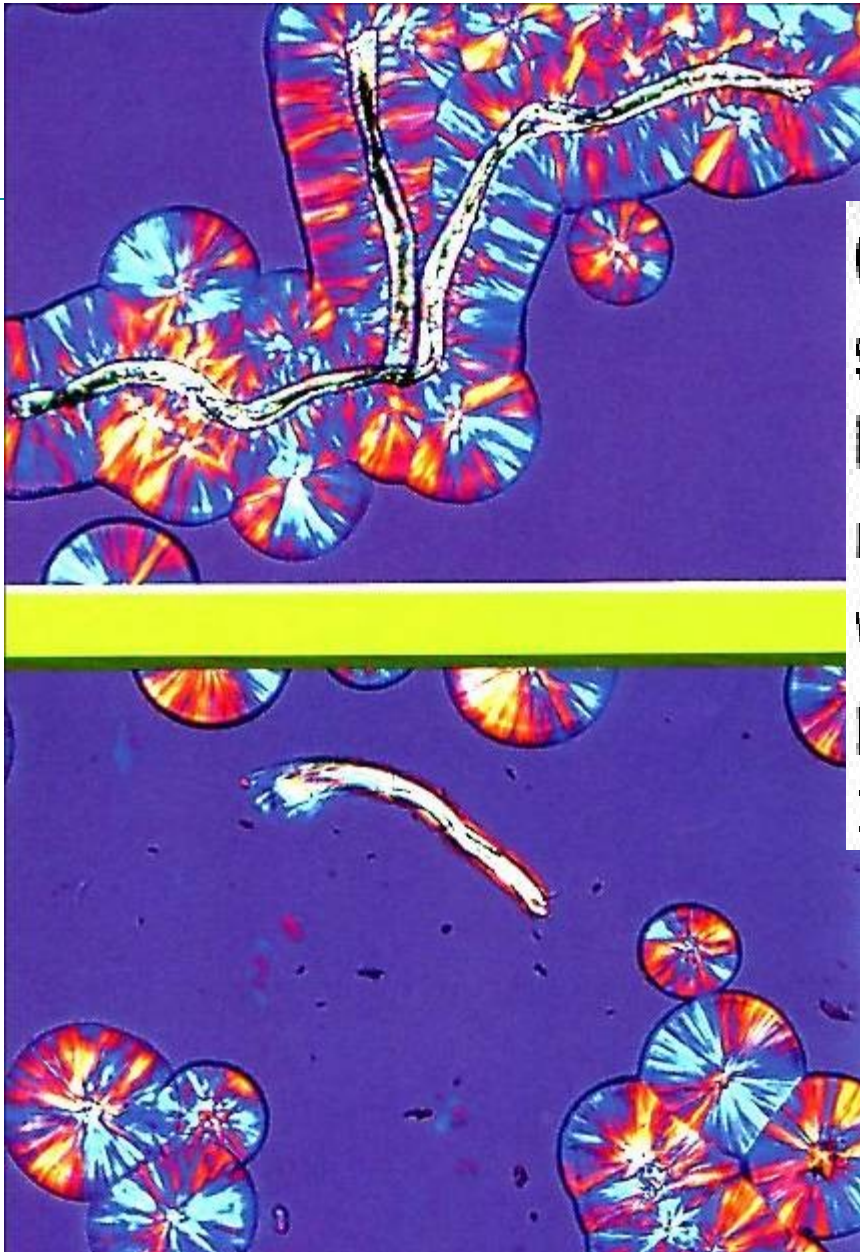
- v první fázi vzrůstají rozměry molekul i polydisperzita systému,
- při určitém stupni reakce dospěje systém do *body gelace*, ve kterém  $\bar{M}_w$  vzroste nad všechny meze a v systému se objeví první stopy nekonečné struktury, gelu,
- po překročení body gelace se systém skládá ze dvou částí: z nekonečné struktury, *gelu*, a z molekul konečné velikosti, *solu*, který lze od gelu oddělit extrakcí; gel je nerozpustný, v rozpouštědle pouze botná,
- v dalším průběhu reakce obsah solu klesá a jeho molární hmotnost i polydisperzita se zmenšují,

# STRUKTURA Polymerů 6/2



Lineární semikrystalický polymer –  
struktura (**a** – krystalické domény)

# STRUKTURA Polymerů 6/1



**Obrázky na titulní straně:** Janiček, M. Mikroskopické snímky izotermní krystalizace polypropylenu s využitím hot-stage při teplotě - stav po 5 min při 130 °C. Nahoře nukleační aktivita celulóзовého vlákna, která vyúsťuje v růst transkrystalické vrstvy, dole potlačení tohoto jevu po esterifikaci povrchu kyselinou dekanovou. Zvětšeno 100krát.

**Barvy jsou udělány digitálním zpracováním obrazu!  
Může to vypadat výtvarně zajímavě.**

Krystalizace v podobě tzv. **SFÉROLITŮ**. Ty jsou v **objemu kulovité**, ale v **ploše kruhové**.



# STRUKTURA Polymerů 7 - PE

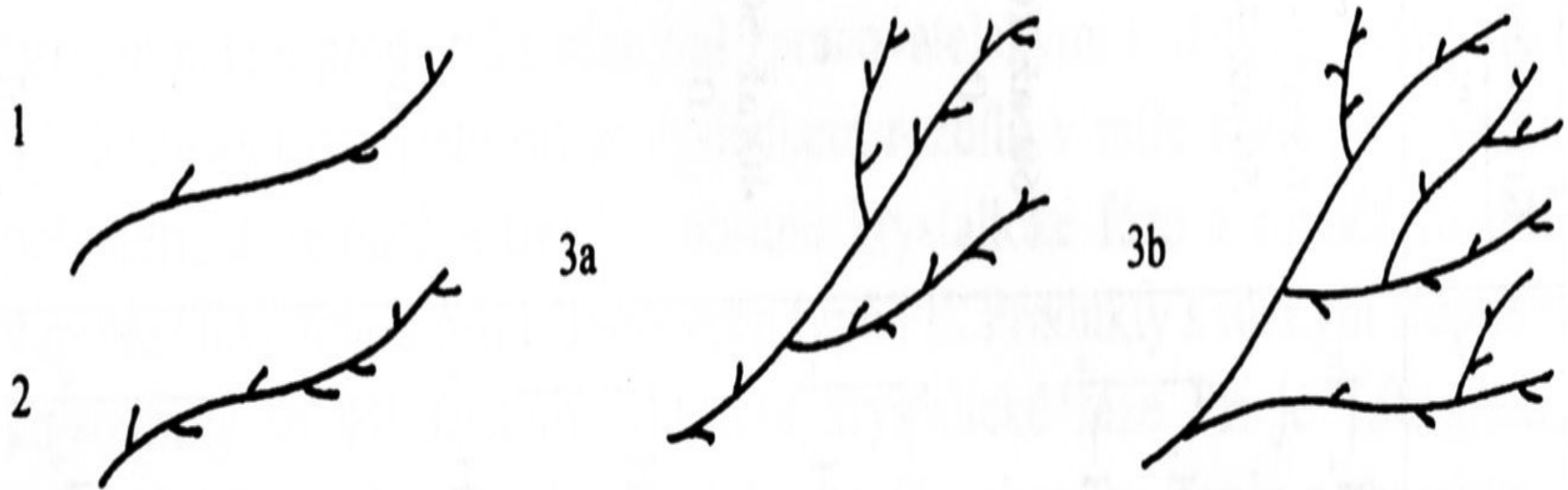
Tab. 2.2. Třídění PE podle hustoty

**Může se to lišit v různých knihách!**

Typ	Zkratka	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )
PE s velmi nízkou hustotou	ULDPE (Ultra-Low Density)	0,888–0,915
PE s nízkou hustotou	LDPE (Low Density)	0,910–0,955
Lineární PE s nízkou hustotou	LLDPE (Linear Low Density)	0,918–0,955
PE se střední hustotou	MDPE (Medium Density)	0,925–0,940
PE s vysokou hustotou	HDPE (High Density)	0,941–0,954
PE s vysokou molekulovou hmotností	HMW-HDPE (High Molecular Weight HDPE)	0,944–0,954 MH = 200 000–500 000
PE s ultravysokou molekulovou hmotností	UHMW-HDPE (Ultra-High Molecular Weight HDPE)	0,955–0,957 MH = 3 000 000–6 000 000

**Typický semikrystalický plast**

# STRUKTURA Polymerů 8 - PE



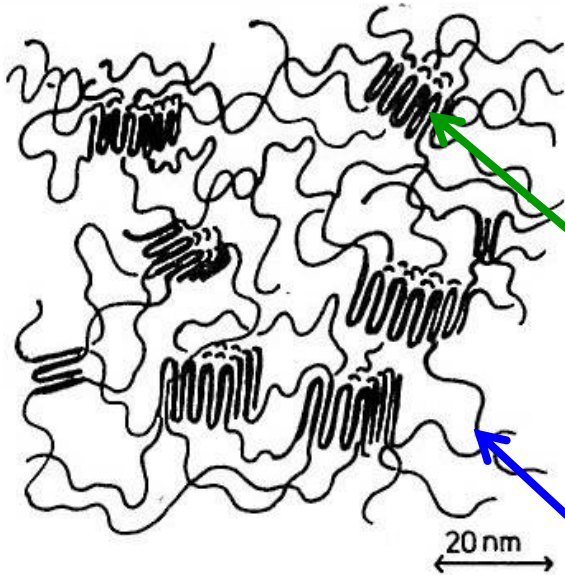
Obr. 2.1. Struktura makromolekul různých typů PE: 1 – HDPE, 2 – LLDPE (krátké větvení), 3 – LDPE (dlouhé a krátké větvení, *a* – trubkový reaktor, *b* – autokláv)

## Typický semikrystalický plast

# STRUKTURA Polymerů 9

- **Nízkomolekulární krystalická látka** – krystaly velikosti mm až cm, krystalinita  $\gg 100$  % hmot.
- **Semikrystalický polymer** – krystaly velikosti  $10^2$  nm až  $10^3$  nm, krystalinita  $< 100$  % hmot., typicky okolo  $50 \pm 30$  % hmot.
- **Amorfní polymer** – krystalinita  $0$  % hmot.

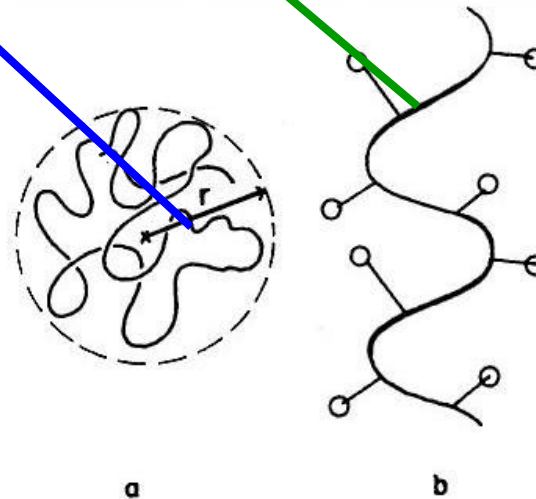
# STRUKTURA Polymerů 9/1



Obr. 56. Struktura částečně krystalického neorientovaného polymeru

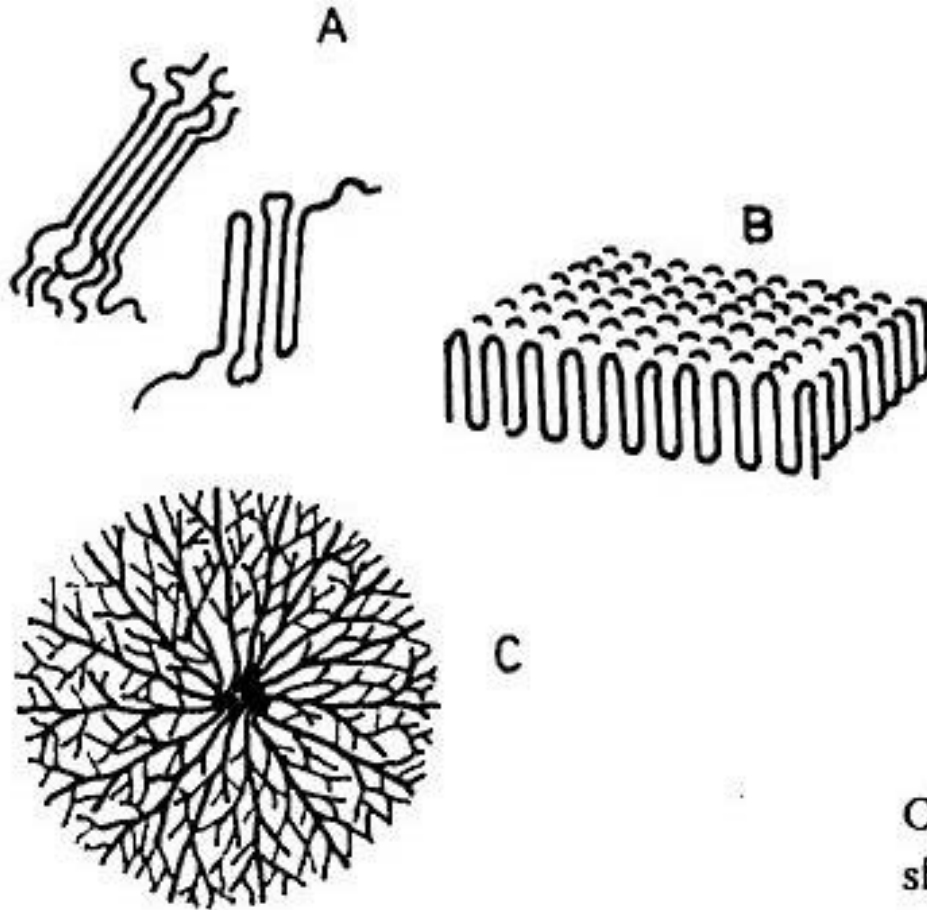
To jsou ty kolmé části, co se nahoře stáčejí opět dolů

Může být ale orientováno, klubko je typické pro roztok



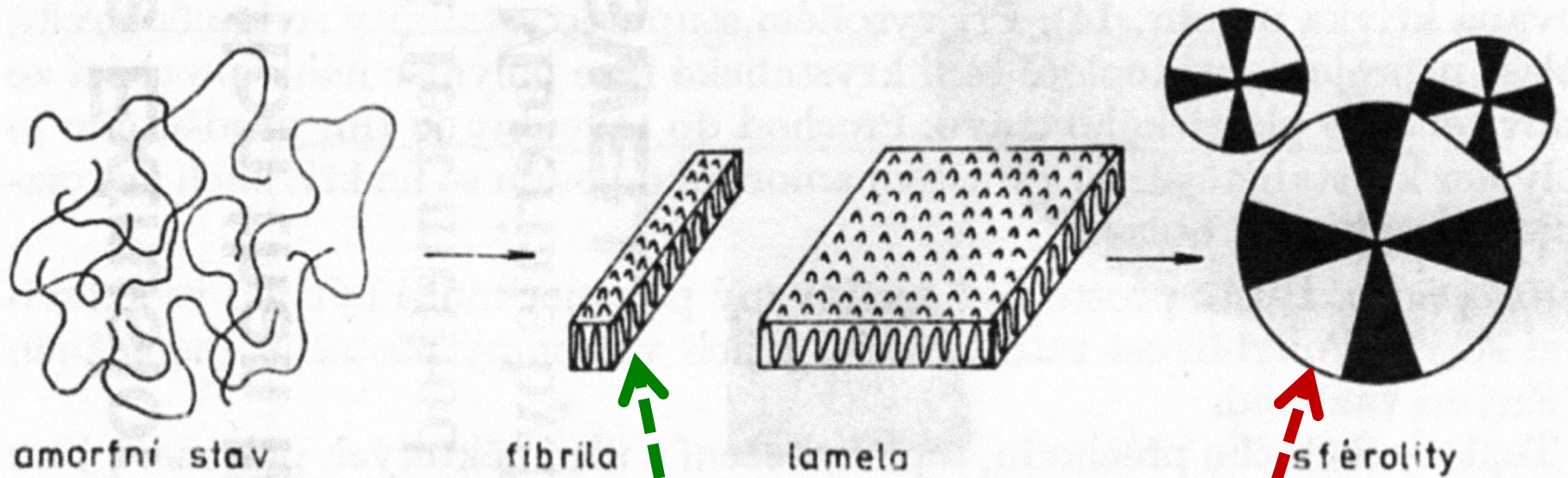
Obr. 52. Tvar makromolekul  
a – statistické klubko, b – spirála

# STRUKTURA Polymerů 9/2/1



Obr. 58. Zárůdky (A), lamela (B), sferolit (C) krystalu polymeru

# STRUKTURA Polymerů 9/2/2



Obr. 15. Uspořádávání makromolekul při krystalizaci

**ŠÍŘKA!**

**Výška je v  $10^2$  nm**

**Toto platí ZHRUBA pro POLYPPROPYLEN**

**Toto si, prosím, pamatujte!**

# STRUKTURA Polymerů 9/2/3

Hierarchy structures of the semicrystalline polymers (e.g. polyethylene or polypropylene)

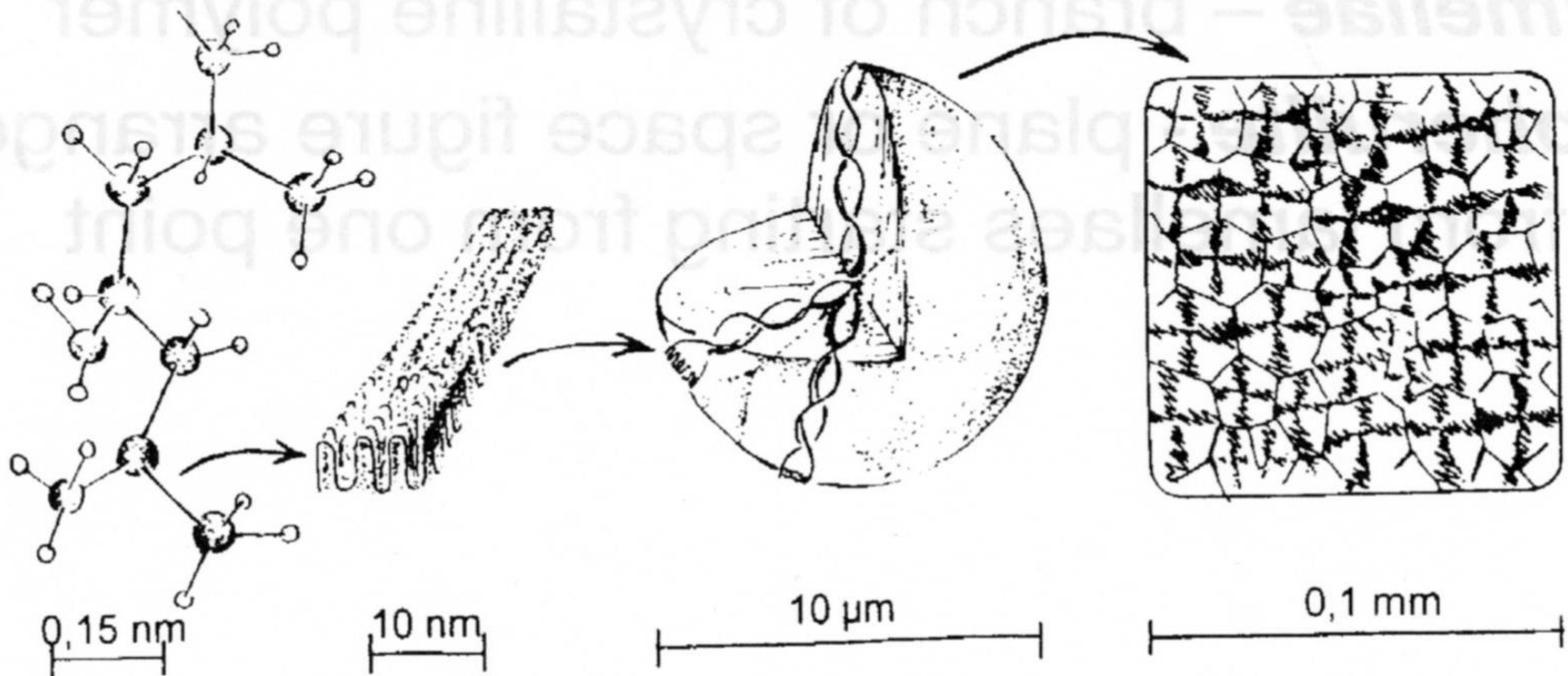
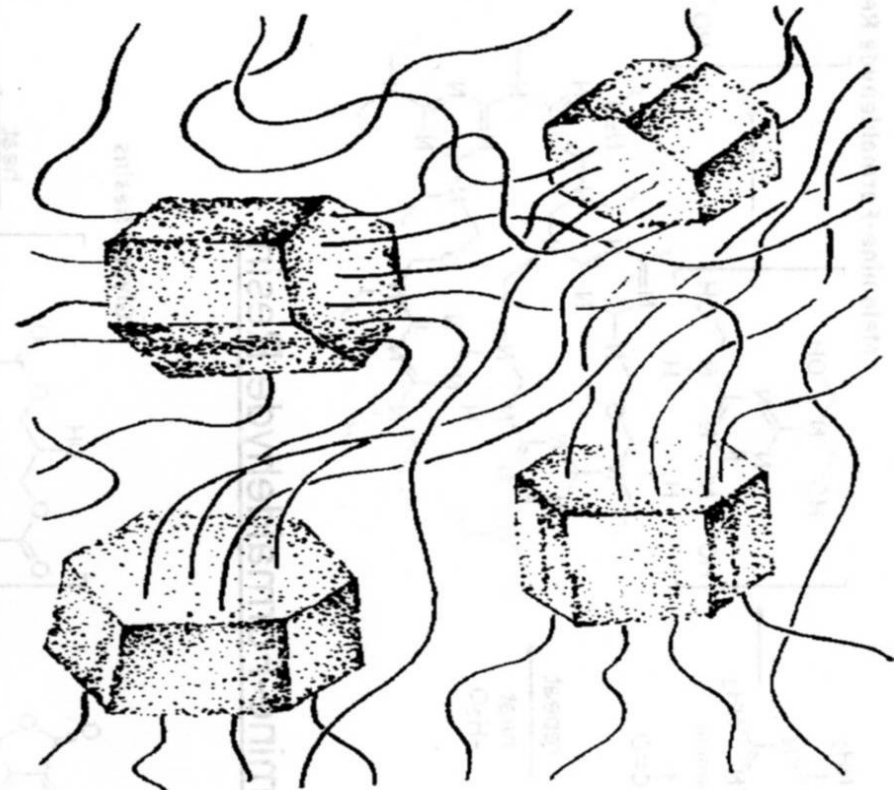
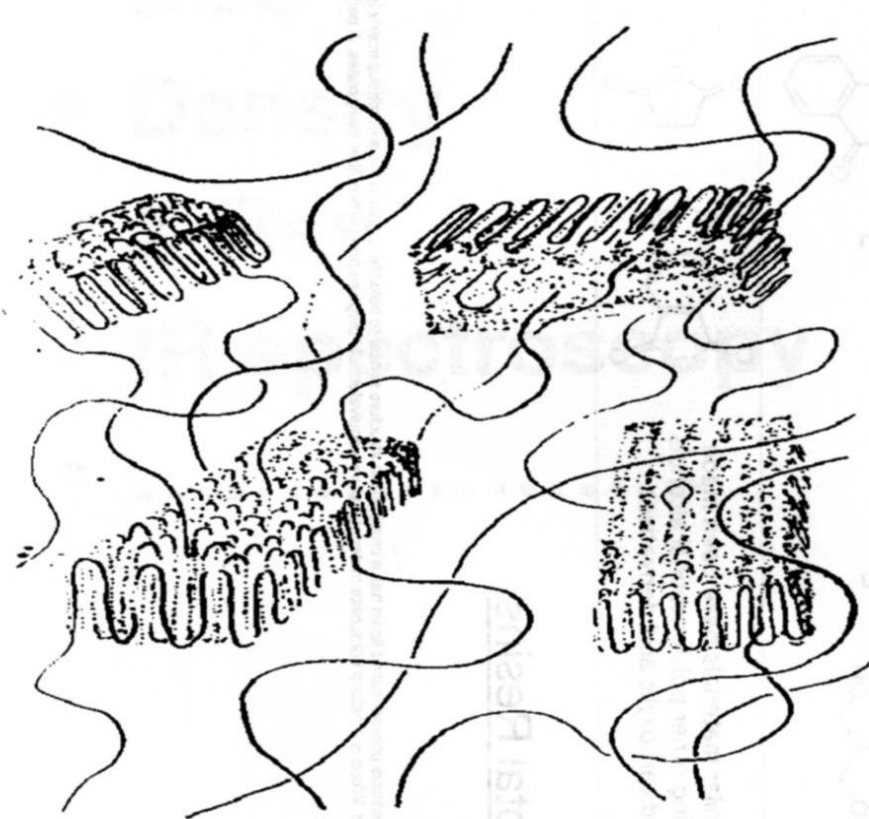


Abb. 1. Strukturhierarchie in isotaktischem Polypropylen

# STRUKTURA Polymerů 9/2/4

Example II– crystalline, noncrystalline  
and amorphous regions =  
*Semicrystalline material*





# STRUKTURA Polymerů 9/2/5

**Tzv. obrázky námrazy na vánočních oknech = SFÉROLITY V PLOŠE organické sloučeniny (ne polymeru)**

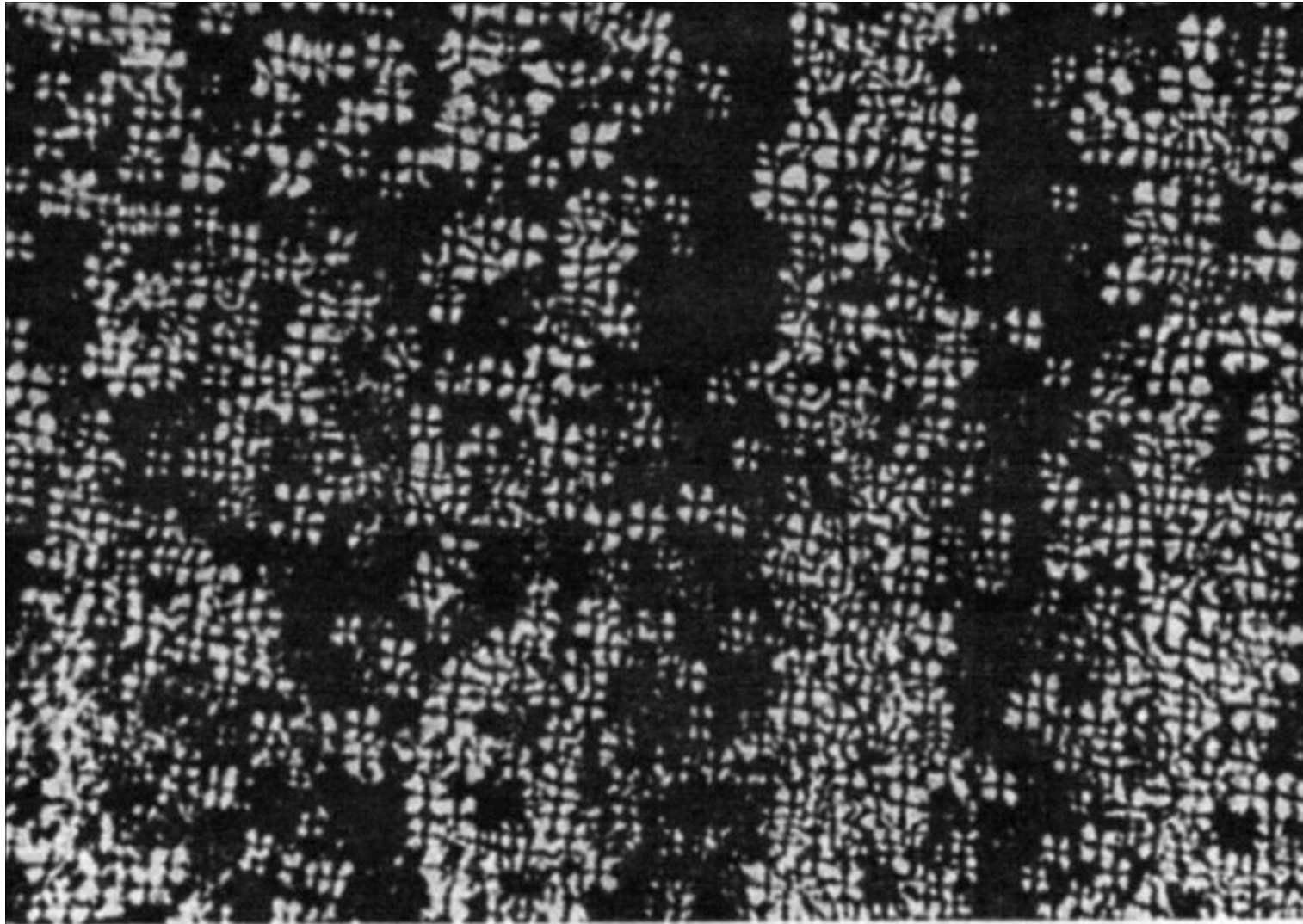


**Zárodek krystalu >  
jádro krystalu > z  
něho vybíhají  
LAMELY >  
SFÉROLIT**

**SFÉROLIT :**

- **krystalizace v objemu > ZHRUBA kulovitý útvar**
- **krystalizace v ploše > ZHRUBA kruhovitý útvar**

# STRUKTURA Polymerů 9/2/6



18. 2

Obr. 17. Sférolity v granuli PE (100krát zvětšeno)

58

# Vstříkované těleso ze SEMIKRYSTALICKÉHO POLYMERU

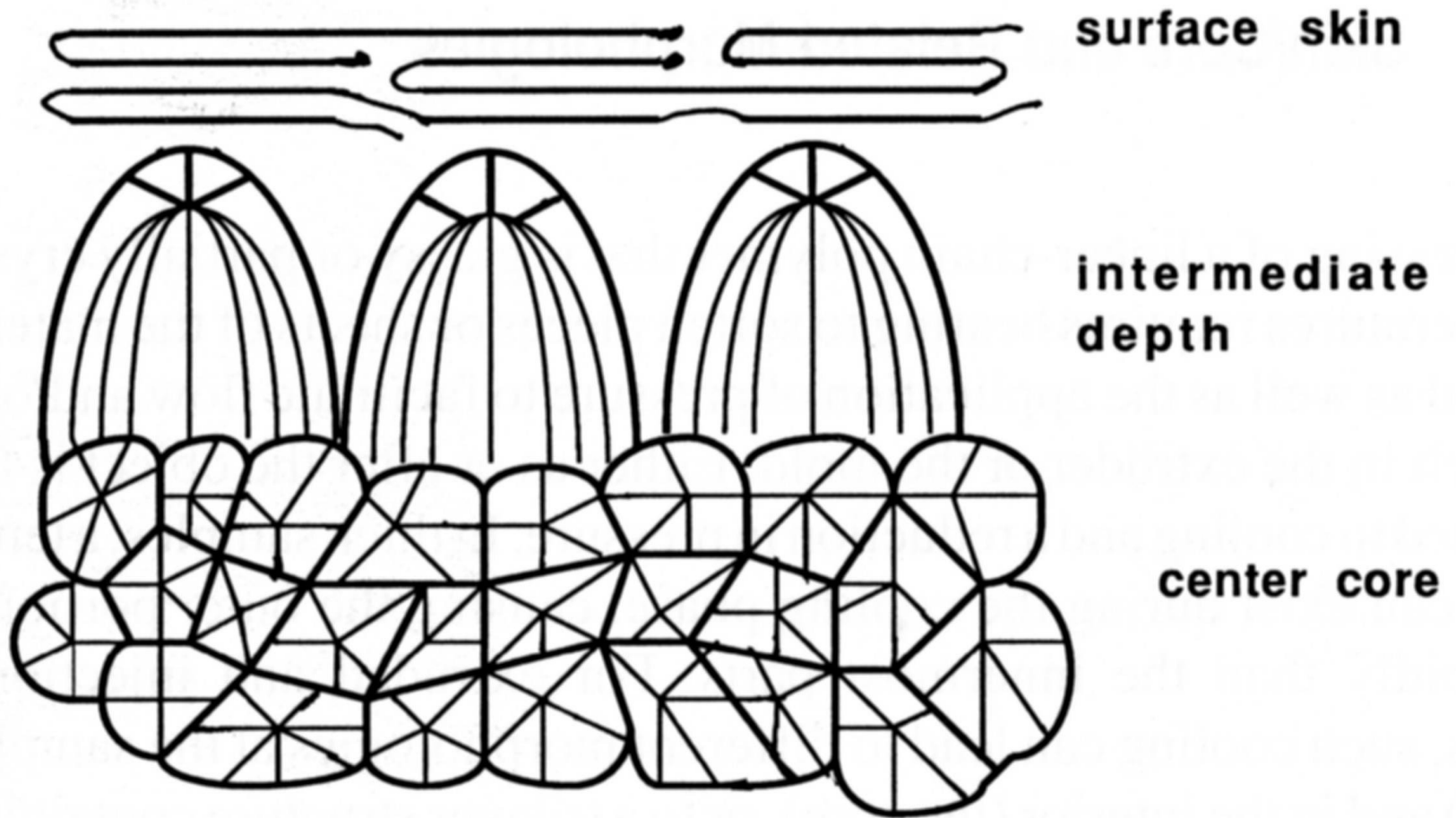


Figure 6.1 Skin/core/intermediate morphology from injection molding.

# STRUKTURA Polymerů 9/3A

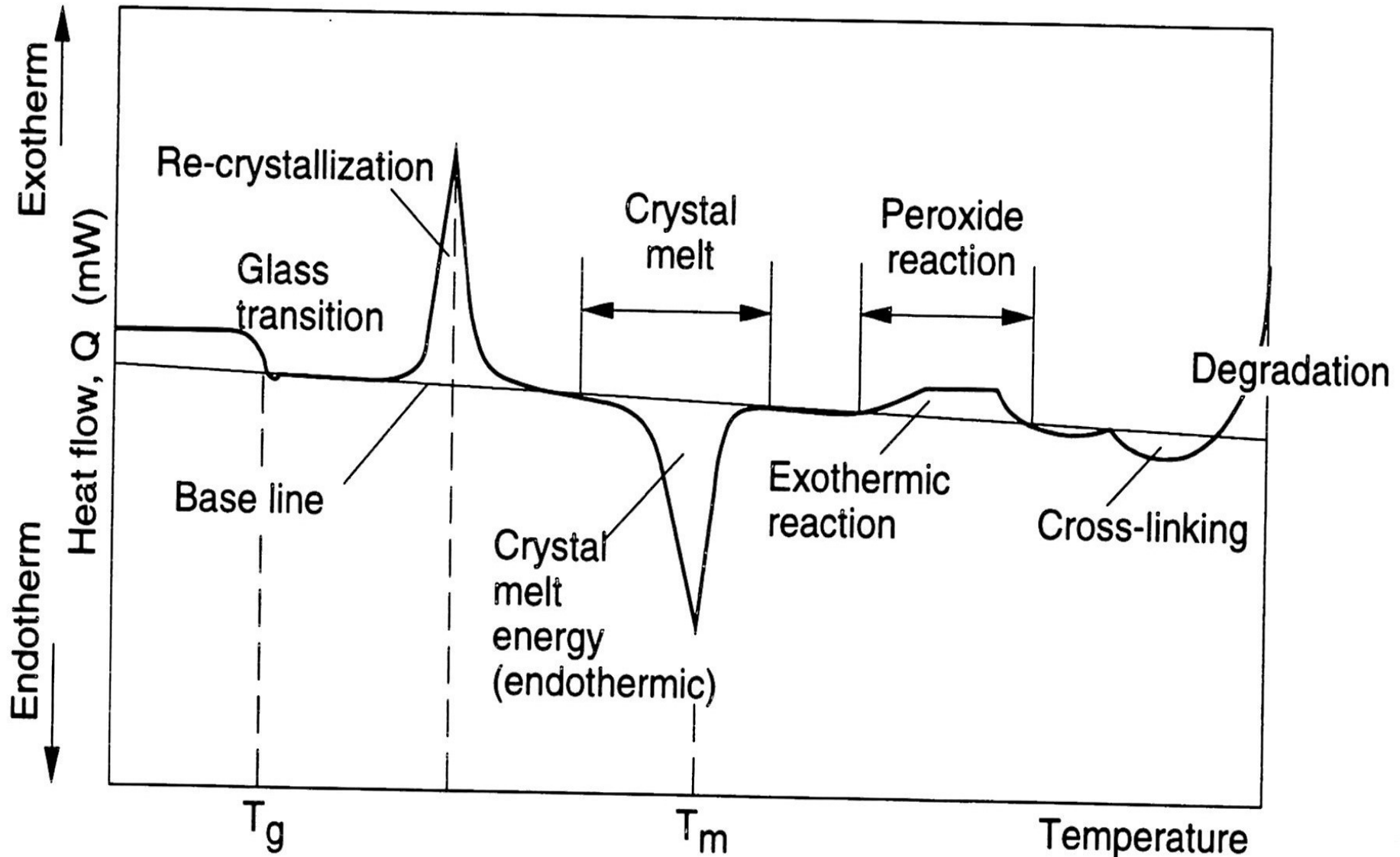
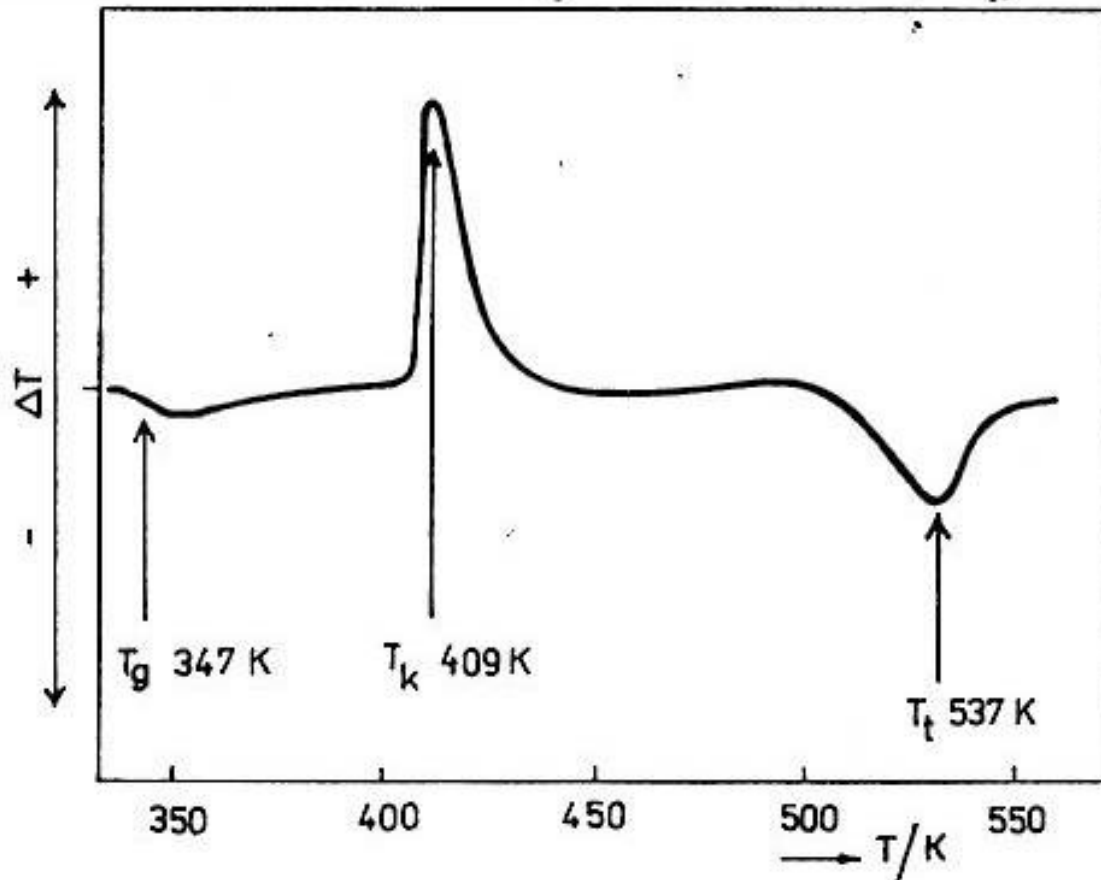


Figure 3.24 Typical DSC heat flow for a semi-crystalline polymer.

# STRUKTURA Polymerů 9/3B



$$T_g = 347 - 273,15 = 73,85\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_k = 409 - 273,15 = 135,85\text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_t = 537 - 273,15 = 263,85\text{ }^\circ\text{C}$$

Obr. 55. Křivka DTA dlouženého polyethylentereftalátového vlákna ( $T_g$  – teplota zesklnění,  $T_k$  – teplota krystalizace,  $T_t$  – teplota tání)

# Co to jsou $T_g$ a $T_m$ (někdy v češtině označováno $T_{sk}$ a $T_t$ )

- $T_g$  – teplota, kdy se mění fyzikální vlastnosti plastu
- $T_m$  – teplota tání KRYSTALICKÉHO PODÍLU polymeru

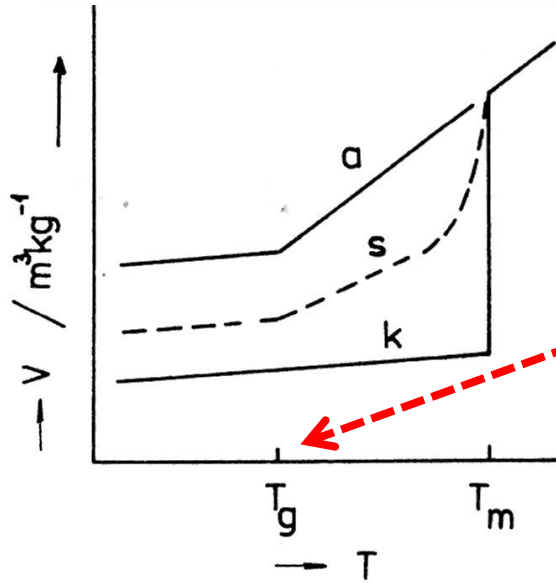
## UKÁZAT $T_g$ na příkladech:

- **PET, PVC, PP homo** v laboratoři

## UKÁZAT $T_m$ na příkladech:

- **PET, PP homo** v laboratoři

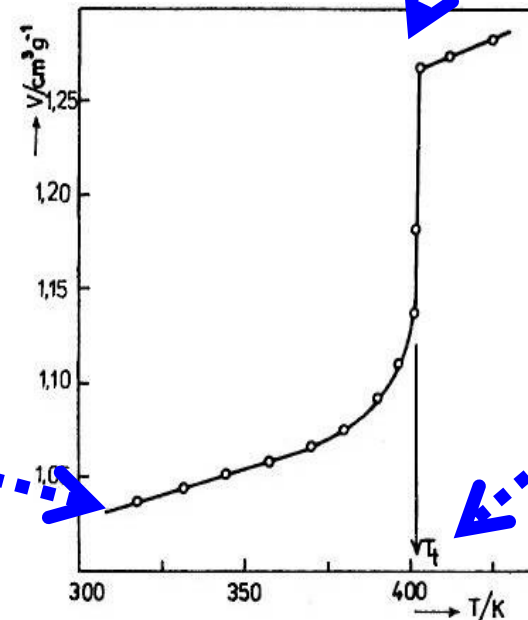
# STRUKTURA Polymerů



**T<sub>g</sub> a T<sub>m</sub>**

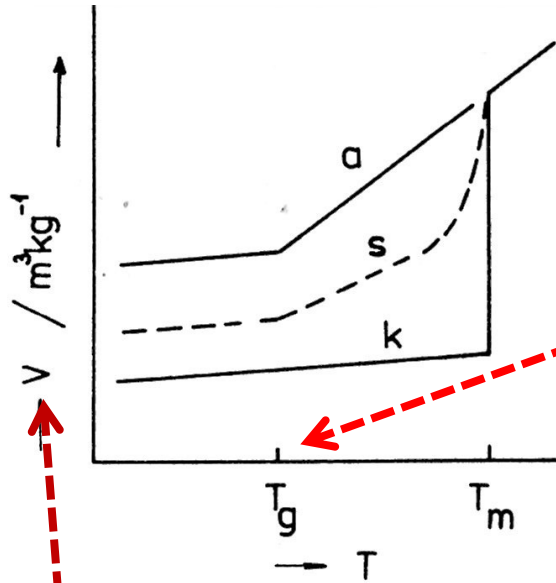
**T = ABSOLUTNÍ  
TEPLOTA,  
jednotka K**

**KRYSTALICKÁ FÁZE je  
uspořádanější a proto má  
NIŽŠÍ SPECIFICKÝ  
OBJEM = VYŠŠÍ  
HUSTOTU = nižší V  
(cm<sup>3</sup>/g)**



**T<sub>t</sub>**

# STRUKTURA Polymerů



**V = měrný  
objem v  $m^3/kg$**

**$T_g$  a  $T_m$**

**T = ABSOLUTNÍ  
TEPLOTA, jednotka K**

Schéma teplotní závislosti měrného objemu amorfního (a), semikrystalického (s) a zcela krystalického (hypotetického) (k) polymeru v oblasti  $T_g$  a  $T_m$



**Tab. 2. Teploty skelného přechodu ( $T_g$ ), teploty tání ( $T_m$ ) a teploty tečení ( $T_f$ ) některých polymerů  
(r — rozklad)**

Polymer	$\frac{T_g}{^\circ\text{C}}$	$\frac{T_m}{^\circ\text{C}}$	Polymer	$\frac{T_g}{^\circ\text{C}}$	$\frac{T_f}{^\circ\text{C}}$
IPE	-100	135	PVC	+83	160 (r)
rPE	-40	115	PS	+100	239
PP	-18	176	PMMA	+80	180
PA 6	+5	225	PCTFE	+40	210
PA 66	+50	264	PVAC	+25	r
PETP	+67	267	PVAL	+80	230
PVDC	-18	170			
PAN	+100	317 (r)			
NR	-73	+28			

# STRUKTURA Polymerů

Tabulka 15

Teploty tání vláknотvorných polymerů

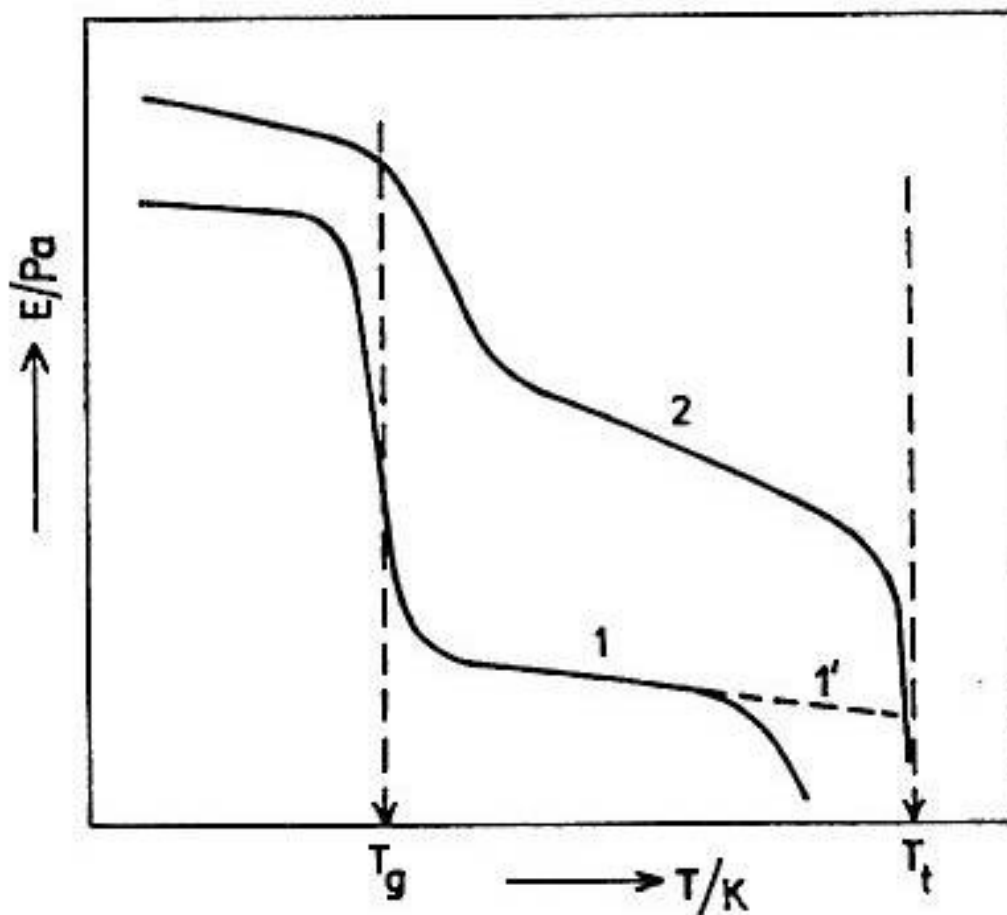
**Zase ty textilácké zkratky!**

Polymer	Teplota tání °C
polykapronamid (PAD-6)	215 až 225
polyhexamethylenadipamid (PAD-6.6)	255 až 270
polyethyltereftalát (PET)	265 až 270
polypropylen izotaktický (POP)	165 až 174

## Stanovení teploty tání

- bodotávek (mikroskop) > PA6 v laborkách
- DSC (diferenciální dynamická kalorimetrie)

# STRUKTURA Polymerů 9/6

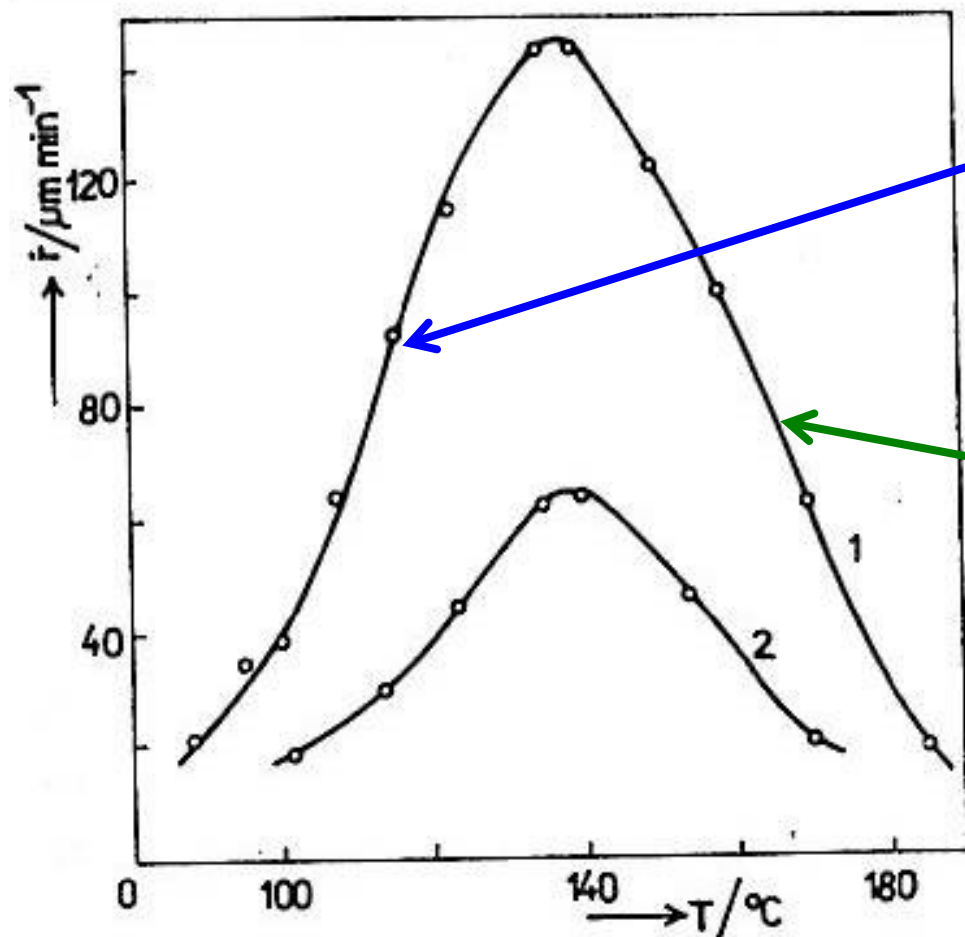


Průběh křivky 2  
závisí na  
**KRYSTALINITĚ**

Obr. 59. Závislost modulu pružnosti  
v tahu na teplotě

Křivka 1 – amorfni polymer,  
křivka 1' – amorfni zesíťovaný  
polymer, křivka 2 – částečně  
krystalický polymer

# STRUKTURA Polymerů 9/7

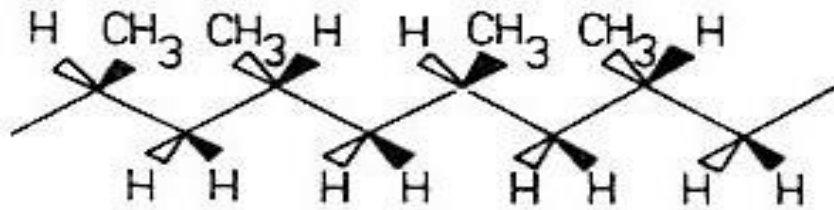


MALÁ POHYBLIVOST  
SEGMENTŮ ŘETĚZCE

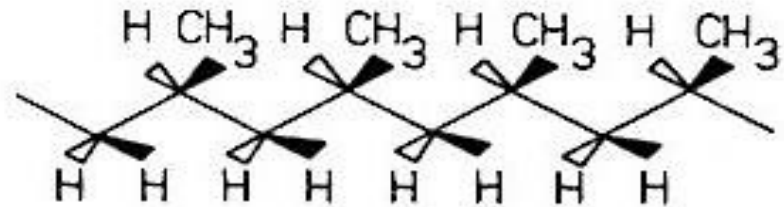
MALÁ RYCHLOST TVORBY  
ZÁRODKŮ ZE SEGMENTŮ  
ŘETĚZCE

Obr. 57. Změna rychlosti růstu  
krystalů polyamidu 6 ( $\dot{r}$ ) s teplotou  
Křivka 1 –  $\bar{M}_r \approx 24\,000$ ,  
křivka 2 –  $\bar{M}_r \approx 40\,000$

# STRUKTURA Polymerů 10

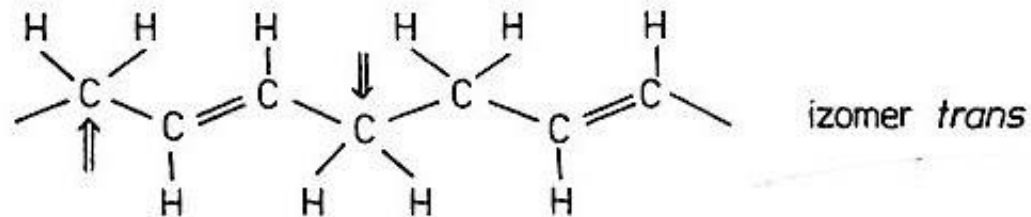


syndiotaktický polypropylen

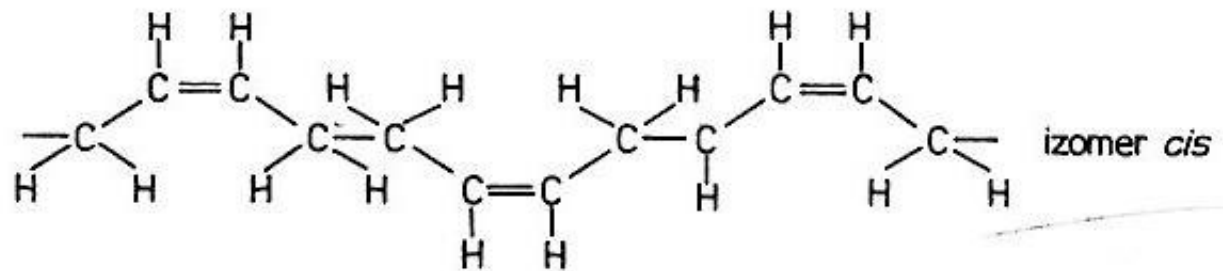


izotaktický polypropylen

**Např.**  
**POLYBUTADIEN**  
**POLYIZOPREN**  
**(přírodní**  
**kaučuk)**



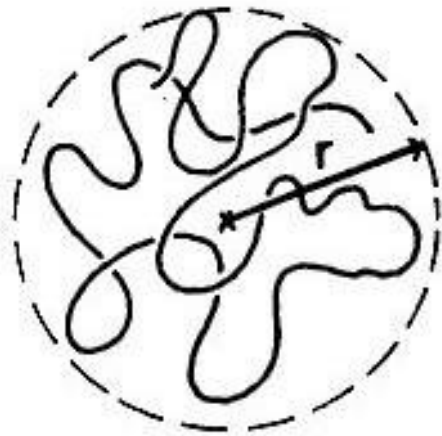
izomer *trans*



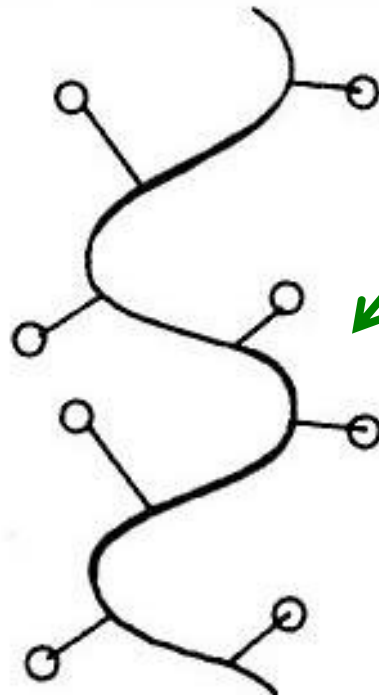
izomer *cis*

# STRUKTURA Polymerů 11

## Roztok



a



b

**Pevná fáze**

Obr. 52. Tvar makromolekul  
a – statistické klubko, b – spirála

**r = gyrační  
poloměr**

# Typický semikrystalický plast - PE

Typ PE	Hustota (g/cm <sup>3</sup> )	Obchodní název
<b>LDPE</b>	<b>0,921</b>	<b>Bralen NA 7-25</b>
<b>HDPE</b>	<b>0,962</b>	<b>Liten MB 72</b>
<b>UHMWPE</b>	<b>0,940</b>	<b>GUR 4113 UHMW-PE</b>
<b>LLDPE</b>	<b>0,925</b>	<b>Flexirene MT 40 A</b>







# POLYMERY A PLASTY V PRAXI - **BIRD NESTING**

RNDr. Ladislav Pospíšil, CSc.

**The construction kit for the bird nesting boxes supplied by the Dutch company Wilnest is a clever application of Luran S (ASA), a styrene-acrylonitrile copolymer impact modified with acrylic rubber. The double-walled and hence well insulated plastic structure consists almost completely of the lightweight and weather-resistant material.**

**The copolymer from the PlasticsPlus family of Basf is especially suitable for outdoor applications thanks to the high chemical resistance, impact strength and UV resistance. No woodpecker or squirrel can harm this robust material.**

**The smooth surface of Luran S also prevents the chicks from leaving the nest too soon and increases their survival prospects. The nesting boxes are injection moulded at AKG Mouldings (Netherlands) and, if required, the box can be converted to a feeding place.**



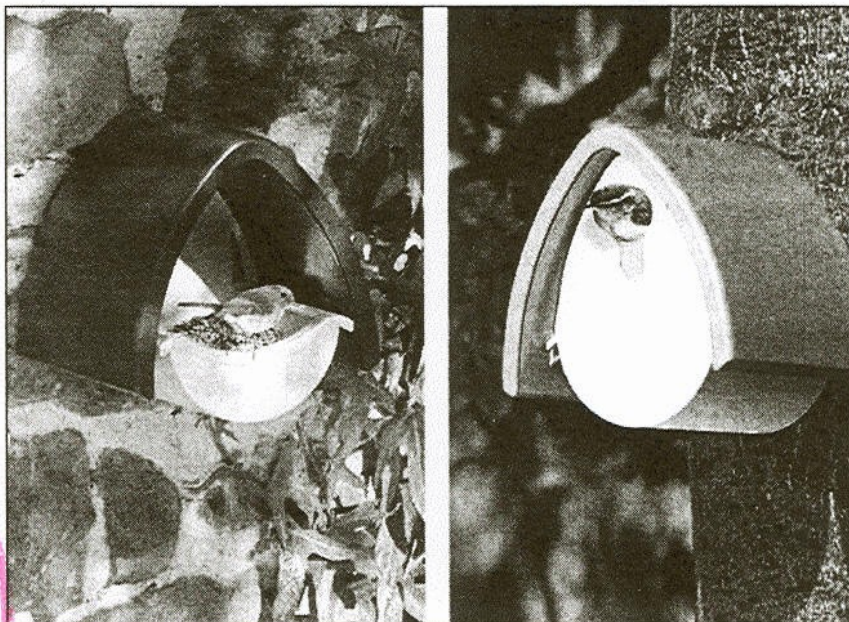
[www.basf.com](http://www.basf.com)

# Slovníček

Squirrel	veverka
Woodpecker	datel
Chicks	ptáčátka
Feeding place	krmítko
nesting	hnízdiště, ptačí budka

## Plastové ptačí budky

Nizozemská firma Wilnest použila ASA (kopolymer akrylesteru, styrenu a akrylonitrilu) k výrobě dvoustěnných ptačích budek. Použila k tomu LURAN S od firmy BASF. Zmíněný plast se vyznačuje velmi dobrou odolností vůči povětrnostním vlivům, UV záření a většině chemikálií. Je houževnatý a podle výrobce má oboustranně hladký povrch.



Ptačí budka z kopolymeru ASA

Hladkost vnější strany brání mláďata před většími nepřáteli (veverkami a většími ptáky) a vnitřní hladký povrch znemožňuje mláďatům, aby sama opustila hnízdo, pokud jsou příliš malá.